

Periodical Part, Report, Published Version

**Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hg.)
Das BMVI-Expertennetzwerk "Wissen - Können - Handeln".
Synthesebericht zur Forschungsphase 2016 - 2019**

BMVI-Expertennetzwerk Wissen Können Handeln

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/107394>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hg.) (2020): Das BMVI-Expertennetzwerk "Wissen - Können - Handeln". Synthesebericht zur Forschungsphase 2016 - 2019. Berlin: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI-Expertennetzwerk Wissen Können Handeln).

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.

Verwertungsrechte: Alle Rechte vorbehalten



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur



Expertennetzwerk
Wissen Können Handeln

Das BMVI-Expertennetzwerk „Wissen – Können – Handeln“

Synthesebericht zur Forschungsphase 2016 - 2019



Deutsches Zentrum für
Schienenverkehrsforschung beim



Vorwort



Liebe Leserinnen und Leser,

Fortschritt und Innovation sind nur möglich dank der Wissenschaft. Forschung macht neugierig, schafft eine solide Informationsbasis, zeigt Lösungen auf, führt zu neuen Erkenntnissen und Entwicklungen – und kann im besten Fall begeistern. Für kaum einen Bereich gilt all das derzeit so sehr wie für die Mobilität. Sie befindet sich in einem radikalen Wandel: Wir digitalisieren, automatisieren, vernetzen und elektrifizieren. Gleichzeitig versuchen wir, auf den demografischen Wandel zu reagieren, die Klimaschutzziele zu erreichen und unsere vollen Straßen zu entlasten.

Alle Verkehrsträger sind von diesem Wandel betroffen. Deshalb ist es effizient und erfolgsversprechend, gemeinsame Lösungen und innovative Konzepte für Schiene, Straße und Wasserstraße zu entwickeln. So können wir daraus den größtmöglichen Nutzen für das komplette Verkehrssystem und unser Land ziehen. Hierbei sind wir auf die Wissenschaft angewiesen.

Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) verfügt über hervorragende Ressortforschungseinrichtungen mit hoher Expertise und wis-

senschaftlicher Reputation. Um dieses Potenzial voll auszuschöpfen und zugänglich zu machen, haben wir 2016 das BMVI-Expertennetzwerk „Wissen – Können – Handeln“ geschaffen, ein behördenübergreifendes Ressortforschungsformat. Ziel ist es, auf wichtige Zukunftsfragen wissenschaftliche Antworten zu finden: verkehrsübergreifend, kreativ und praktisch anwendbar. Wie können wir unsere Verkehrswege robuster schützen gegen extreme Wetterereignisse? Wie können wir mit Künstlicher Intelligenz Bauvorhaben modernisieren und beschleunigen? Oder wie können wir Verkehrsnebenflächen für die Gewinnung erneuerbarer Energien benutzen? Wir achten bei allen Fragestellungen darauf, Theorie und Praxis miteinander zu verknüpfen sowie Wissenschaftler und Anwender miteinander zu vernetzen. Die Erkenntnisse und Ergebnisse werden schnell in den Verkehrsbehörden und bei uns im BMVI umgesetzt.

Der vorliegende Synthesebericht gibt Ihnen einen Überblick über die wichtigsten Ergebnisse der ersten Arbeitsphase (2016-2019). Darin geht es um die Bereiche Klimawandel, Umweltschutz, Stärkung der Infrastruktur und digitale Technologien. Zusätzlich finden Sie viele weitere Informationen im Internet auf www.bmvi-expertennetzwerk.de.

Unsere Arbeit ist hiermit aber nicht zu Ende. Das BMVI-Expertennetzwerk ist langfristig angelegt: Bis 2025 werden wir die bisherigen Forschungsfragen weiter vertiefen und neue Themen ergänzen. Durch intensive und kontinuierliche Vernetzung wollen wir die wichtigen Zukunftsfragen und -themen fest in der Forschungslandschaft verankern. Ich bin überzeugt, dass das BMVI-Expertennetzwerk das richtige Format dafür ist und verkehrsträgerübergreifend wertvolle Impulse setzen kann. Mit seiner Hilfe können wir Mobilität neu denken und Innovationen alltagstauglich machen.

A handwritten signature in blue ink, reading 'Andreas Scheuer'. The signature is fluid and stylized, with a long horizontal stroke at the end.

Ihr
Andreas Scheuer MdB
Bundesminister für Verkehr und digitale Infrastruktur

Fazit der Behördenleiter/innen

Die Verkehrsinfrastruktur des 21. Jahrhunderts sieht sich mit vielfältigen Herausforderungen konfrontiert, welche die Mobilität in Zukunft entscheidend beeinflussen. Wir als Oberbehörden im Geschäftsbereich des BMVI beraten die Bundesregierung zu wichtigen Zukunftsfragen mit dem Ziel, verkehrsträgerspezifisch und -übergreifend Lösungen anzubieten, die auf den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhen und die so ein effizientes Zusammenspiel sämtlicher Verkehrsträger sicherstellen.

Seit Januar 2016 kooperieren unsere Häuser verstärkt im BMVI-Experten Netzwerk. Durch die Zusammenarbeit innerhalb des Ressorts für Verkehr und digitale Infrastruktur in gemeinsamen Forschungsprojekten bieten wir Beratung „aus einem Guss“. Das wechselseitige Lernen und die Synergien spielen dabei ebenso eine wichtige Rolle wie die Harmonisierung von Prüf- und Untersuchungsansätzen. Dies ermöglicht eine gemeinsame und abgestimmte Unterstützung nationaler und internationaler Arbeiten zur Standardisierung von Verfahren durch unsere Behörden. Zusätzlich trägt dieser Austausch zu einer abgestimmten Umsetzung von Forschungsergebnissen in die Praxis bei und stellt unser Beratungsangebot für das BMVI und weitere Stakeholder auf ein breiteres Fundament. Dies wirkt sich positiv in der Außendarstellung des Ressorts und der


Ressortforschung im Allgemeinen aus. Zahlreiche neue Anknüpfungspunkte zwischen unseren Häusern sind durch die Arbeiten im BMVI-Experten Netzwerk entstanden. Der intensivierte Austausch zwischen unseren Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern lässt unsere Häuser näher zusammenrücken und erzeugt einen Mehrwert für jede beteiligte Behörde.

Die gemeinsam erreichten Ergebnisse der ersten Forschungsphase 2016-2019 zeigen deutlich die Erfolge dieser verstärkten Vernetzung und Kooperation. Durch die Entwicklung gemeinsamer Modell- und Analysensysteme und durch den Abgleich von Handlungsempfehlungen für die Praxis wurde in dieser kurzen Zeit sehr viel für eine verkehrsträgerübergreifend abgestimmte Weiterentwicklung des Verkehrssystems in Deutschland erreicht. Eine Reihe neuer und innovativer Handlungsoptionen für eine resiliente und umweltgerechte Verkehrsentwicklung liegen vor.

Umso mehr blicken wir mit Vorfreude auf die sich nun anschließende zweite Forschungsphase (2020-2025) des BMVI-Experten Netzwerks, in der wir unsere Zusammenarbeit weiter ausbauen und auch den Dialog mit den Anwenderinnen und Anwendern unserer Ergebnisse intensivieren wollen.



Andreas Marquardt
(Präsident des Bundesamtes für Güterverkehr)



Dr. Karin Kammann Klippstein
(Präsidentin des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie)



Dr. Birgit Esser
(Leiterin der Bundesanstalt für Gewässerkunde)



Stefan Strick
(Präsident der Bundesanstalt für Straßenwesen)



Prof. Dr. Christoph Heinzelmann
(Leiter der Bundesanstalt für Wasserbau)



Prof. Dr. Gerhard Adrian
(Präsident des Deutschen Wetterdienstes)



Gerald Hörster
(Präsident des Eisenbahn-Bundesamtes)

Inhalt

Vorwort	1
Fazit der Behördenleiter/innen.....	2
1 Vernetzte Ressortforschung als Antwort auf Zukunftsfragen des Verkehrssektors	4
2 Lösungsansätze für das Verkehrsressort	7
3 Wesentliche Erkenntnisse	8
3.1 Verkehr und Infrastruktur an Klimawandel und extreme Wetterereignisse anpassen	8
3.2 Verkehr und Infrastruktur umweltgerecht gestalten	14
3.3 Verlässlichkeit der Verkehrsinfrastrukturen erhöhen.....	21
3.4 Digitale Technologien konsequent weiterentwickeln und anwenden	25
3.5 Erneuerbare Energien für Verkehr und Infrastruktur erschließen und nutzen.....	28
4 Vernetzte Ressortforschung verbessert die Politikberatung und hebt Synergien für den operativen Betrieb	31

1 Vernetzte Ressortforschung als Antwort auf Zukunftsfragen des Verkehrssektors

Das BMVI-Expertennetzwerk „Wissen – Können – Handeln“

Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) hat im Jahr 2016 das BMVI-Expertennetzwerk „Wissen – Können – Handeln“ geschaffen, um Antworten auf die Mobilitäts Herausforderungen des 21. Jahrhunderts zu erhalten. Dabei standen erstmals verkehrsträgerübergreifende Ansätze im Zentrum eines Forschungskonzepts und im Interesse des Ressorts.

Box 1: Das BMVI-Expertennetzwerk in Zahlen

Start: 01.01.2016

Beteiligte Behörden: 7 (BAG, BAST, BAW, BfG, BSH, DWD, DZSF/EBA)

Mitarbeiter*innen: 70+

Fördervolumen: ca. 7 Mio. €/Jahr

Das Hauptziel des BMVI-Expertennetzwerks in der ersten Phase (2016-2019) bestand darin, Lösungen zu entwickeln, welche die Widerstandsfähigkeit von Schiene, Wasserstraße und Straße beispielsweise gegen die Auswirkungen extremer Wetterereignisse erhöhen und gleichzeitig nachteilige Auswirkungen der Verkehrsträger auf die Umwelt minimieren.

Im BMVI-Expertennetzwerk engagieren sich: das Bundesamt für Güterverkehr (BAG), das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), die Bundesanstalt

für Gewässerkunde (BfG), die Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST), die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), der Deutsche Wetterdienst (DWD) und das Deutsche Zentrum für Schienenverkehrsforschung (DZSF) beim Eisenbahnbundesamt (EBA). Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler dieser Forschungseinrichtungen entwickeln in enger Zusammenarbeit interdisziplinäre Lösungsansätze rund um das Verkehrssystem (Abbildung 1). Sie stellen so eine zukunftsorientierte, fachwissenschaftliche Beratung des BMVI sicher.

Das BMVI-Expertennetzwerk hat eine langfristige Forschungsstrategie 2030¹ erarbeitet, die beschreibt, wie sich das BMVI-Expertennetzwerk mit aktuellen Herausforderungen wie dem Klimawandel, dem Umweltschutz oder alternder Infrastruktur weiterhin befassen wird.

Die Forschung im BMVI-Expertennetzwerk gliederte sich in der ersten Phase (2016-2019) in fünf Themenfelder, deren wesentliche Ergebnisse in Kapitel 3 exemplarisch dargestellt werden:

- Verkehr und Infrastruktur an Klimawandel und extreme Wetterereignisse anpassen (2016-2019)
- Verkehr und Infrastruktur umweltgerecht gestalten (2016-2019)
- Verlässlichkeit der Verkehrsinfrastruktur erhöhen (2016-2019)
- Digitale Technologien konsequent entwickeln und anwenden (2017-2019)
- Einsatzpotenziale erneuerbarer Energien für Verkehr und Infrastruktur verstärkt erschließen (2017-2019).

¹ BMVI-Expertennetzwerk (2018). Forschungsstrategie des BMVI-Expertennetzwerks Wissen – Können – Handeln, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Bonn.

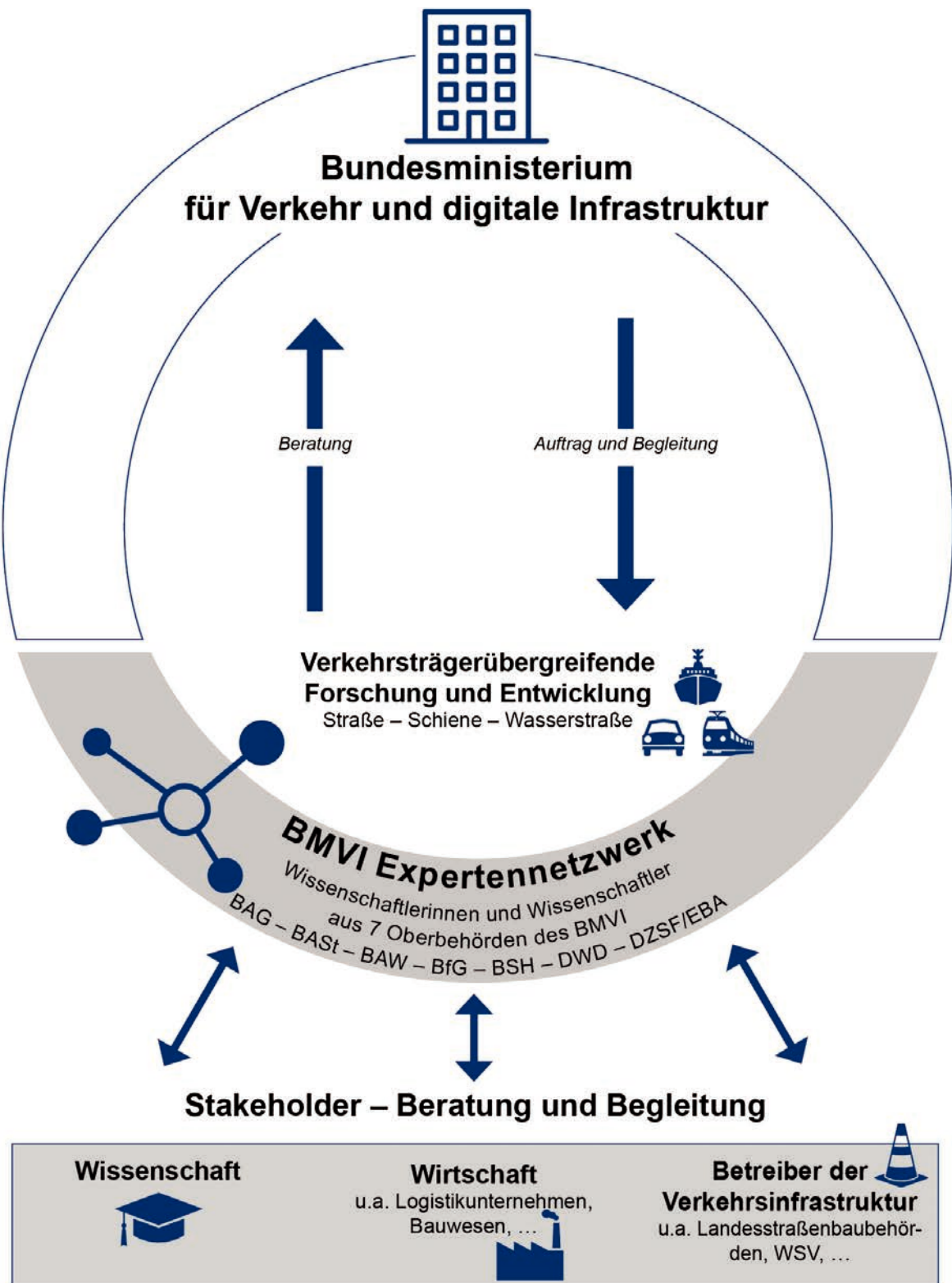


Abbildung 1: Vernetzung des BMVI-Expertennetzwerks

Nutzerbezogene Forschung und Entwicklung

Die Forschung des BMVI-Expertennetzwerks liefert anwendungsbezogene Ergebnisse. Sie ist in den strategischen Rahmen der Ressortforschung des BMVI² eingebettet. Adressiert werden Forschungsschwerpunkte wie „Verbesserung der Verkehrsinfrastruktur“, „Integrierte und vernetzte Mobilität“ sowie „Nachhaltige und sichere Mobilität“.

Unterschiedliche Akteurinnen und Akteure aus den Bereichen Wirtschaft und Verkehrsverwaltung wie z. B. die Deutsche Bahn AG, die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) oder die Landesstraßenbaubehörden begleiten das BMVI-Expertennetzwerk kontinuierlich.

Der vorliegende Synthesebericht zeigt exemplarisch wesentliche Forschungsergebnisse des BMVI-Expertennetzwerks, die in der Laufzeit zwischen 2016 und 2019 entstanden sind. Eine ausführlichere Berichterstattung über die Ergebnisse dieser Forschungsphase findet sich unter www.bmvi-expertennetzwerk.de/publikationen. Zusammenfassend werden die Ergebnisse in den Ergebnisberichten der fünf Themenfelder dargestellt (siehe Box 2). Zudem wurden die Ergebnisse des BMVI-Expertennetzwerks auf über 250 Veranstaltungen (Fachkonferenzen, Gremien, Dialogen mit Anwenderinnen und Anwendern etc.) vorgestellt und in zahlreichen wissenschaftlichen Publikationen veröffentlicht. Hervorzuheben ist die Tagung „Verkehr und Infrastruktur 2018“, auf der am 14. Juni 2018 das BMVI-Expertennetzwerk seine (Zwischen-)Ergebnisse der Fachöffentlichkeit vorstellte.

Box 2: Themenfeldberichte der ersten Phase des BMVI-Expertennetzwerks

BMVI-Expertennetzwerk (2020): Verkehr und Infrastruktur an Klimawandel und extreme Wetterereignisse anpassen. Ergebnisbericht des Themenfeldes 1 im BMVI-Expertennetzwerk für die Forschungsphase 2016 - 2019, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Berlin.

BMVI-Expertennetzwerk (2020): Verkehr und Infrastruktur umweltgerecht gestalten. Ergebnisbericht des Themenfeldes 2 im BMVI-Expertennetzwerk für die Forschungsphase 2016 - 2019, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Berlin.

BMVI-Expertennetzwerk (2020): Verlässlichkeit der Verkehrsinfrastruktur erhöhen. Ergebnisbericht des Themenfeldes 3 im BMVI-Expertennetzwerk für die Forschungsphase 2016 - 2019, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Berlin.

BMVI-Expertennetzwerk (2020): Digitale Technologien konsequent entwickeln und anwenden. Ergebnisbericht des Themenfeldes 4 im BMVI-Expertennetzwerk für die Forschungsphase 2016 - 2019, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Berlin.

BMVI-Expertennetzwerk (2020): Einsatzpotenziale erneuerbarer Energien für Verkehr und Infrastruktur verstärkt erschließen. Ergebnisbericht des Themenfeldes 5 im BMVI-Expertennetzwerk für die Forschungsphase 2016 - 2019, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Berlin.

Diese und weitere Berichte stehen auf der Internetseite des BMVI-Expertennetzwerks unter <https://www.bmvi-expertennetzwerk.de/publikationen> bereit und werden kontinuierlich um neue Publikationen ergänzt.

² Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2020). Strategischer Rahmen der Ressortforschung, Berlin.

2 Lösungsansätze für das Verkehrsressort

Die Erwartungen von Wirtschaft und Gesellschaft an die Mobilität von morgen belegen eindeutig den Bedarf für vernetzte verkehrsträgerübergreifende Konzepte. Ingenieurtechnische Innovationen, die Nutzung erneuerbarer Energien und die Einführung neuer digitaler Technologien sind wichtige Zukunftsaufgaben. Es ist daher entscheidend, Lösungen zu entwickeln, die gleichzeitig unsere Umwelt schonen und die Anforderungen an die Mobilität der Zukunft erfüllen.

Das BMVI-Expertennetzwerk verfolgt die nachfolgenden Lösungsansätze:

„Wir finden innovative und verkehrsträgerübergreifende Lösungen für Klimaveränderungen“

- Aufgrund der zu erwartenden Klimaveränderungen ist mit Auswirkungen auf das Verkehrssystem durch häufiger und intensiver auftretende Extremwetterereignisse zu rechnen. Die im BMVI-Expertennetzwerk neu erstellten deutschlandweiten Karten zu Hochwasser, Niedrigwasser, gravitativen Massenbewegungen (z. B. Hangrutschungen) und Sturm sind wichtige Grundlagen für zukunftsweisende verkehrsbezogene Planungen. Das mehrstufige, verkehrsträgerübergreifende Konzept der "Klimawirkungsanalyse" macht das Klimawissen passfähig für die Anwendung in der Praxis und für die Priorisierung von Anpassungsentscheidungen.
- Die Widerstandsfähigkeit des Verkehrssystems gegenüber extremen Wetterereignissen mit potenziell großen Schäden kann durch innovative Anpassungsmaßnahmen in den Bereichen Information, Regelwerke, Management, Material und Bauwerke erhöht werden. Auch verkehrsträgerübergreifende Lösungen können sich als zielführend erweisen. Das BMVI-Expertennetzwerk hat hier wichtige Impulse gesetzt.

„Wir beschleunigen Bauverfahren“

- Das BMVI-Expertennetzwerk konnte zeigen, dass innovative Verfahren wie Fernerkundung oder künstliche Intelligenz (KI) große Potenziale besitzen, um die Pla-

nungs- und Bauprozesse der Verkehrsinfrastruktur zu beschleunigen.

- Die Auswahl beständiger und umweltverträglicher Baumaterialien soll durch eine IT-basierte Rechercheplattform vereinfacht werden, die im BMVI-Expertennetzwerk aufgebaut wird.

„Wir steigern die Effizienz von digitalen Bauwerksinspektionen“

- Die Effizienz von Inspektionen wird gesteigert, indem wir basierend auf neuen Erkenntnissen des BMVI-Expertennetzwerks Zustandsveränderungen von Bauwerken mithilfe innovativer digitaler Systeme wie virtuell simulierter/erweiterter Realitäten ("Virtual Realities" oder "Augmented Realities", VR/AR) visuell erfassen.

„Wir nutzen Verkehrsnebenflächen als Biotop und zur Gewinnung erneuerbarer Energien“

- Das BMVI-Expertennetzwerk konnte belegen, dass Verkehrsnebenflächen für Deutschland eine große Bedeutung als Lebensraum auch für geschützte und gefährdete Arten besitzen. Sie bieten zudem das Potenzial, erneuerbare Energien im Verkehrsbereich zu gewinnen.

„Wir schauen genauer hin bei Schadstoffemissionen“

- Zur Verbesserung der Luftqualität sind je nach Standort alle Verkehrsträger zu berücksichtigen. Das BMVI-Expertennetzwerk verdeutlicht, dass ihre Anteile in Bezug auf die Emissionen von Luftschadstoffen standortspezifisch sehr unterschiedlich sein können. Maßnahmen müssen dies berücksichtigen.

Entwicklungen der Digitalisierung, Fernerkundung oder künstlichen Intelligenz sind sehr dynamisch. Das BMVI gewinnt daraus neue Erkenntnisse für das Verwaltungshandeln und stellt diese für das Management sowie für operative Aufgaben zur Verfügung. So wird aus "Wissen" "Können", das im täglichen oder langfristigen strategischen "Handeln" nützlich ist; gemäß dem Motto des BMVI-Expertennetzwerks „Wissen – Können – Handeln“.

3 Wesentliche Erkenntnisse

3.1 Verkehr und Infrastruktur an Klimawandel und extreme Wetterereignisse anpassen

Für die Anpassung unserer Verkehrssysteme an Klimaänderungen sind belastbare Entscheidungsgrundlagen eine unabdingbare Voraussetzung. Mit der Arbeit im Bereich der Klimafolgen- und Anpassungsforschung entwickelt und liefert das BMVI-Expertennetzwerk, dem Stand der Wissenschaft entsprechend, verkehrsträgerübergreifende

Informationen zu vergangenen und zukünftig zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels auf die Bundesverkehrswege und zu denkbaren Anpassungsoptionen. Das BMVI-Expertennetzwerk trägt dazu bei, die Verkehrssysteme zuverlässig, zukunftsorientiert und leistungsfähig zu erhalten und weiterzuentwickeln, um die hohen Anforderungen des Wirtschaftsstandorts Deutschland hinsichtlich Mobilität auch in Zukunft zu erfüllen.



Wesentliche Ergebnisse bis 12/2019

„Wo und wie ist das Verkehrssystem vom Klimawandel betroffen?“

- ✓ Die Klimawirkungsanalysen des BMVI-Expertennetzwerks quantifizieren die Betroffenheit und Gefährdung der Verkehrsinfrastruktur im Binnenland und an der Küste. Die Exposition des Verkehrssystems gegenüber Einwirkungen von Hoch- und Niedrigwasser, Meeresspiegelanstieg und gravitativen Massenbewegungen wird zum Ende des 21. Jahrhunderts weiter ansteigen.
- ✓ Erstmals wurde eine Analyse von Klimawirkungen für Schienen, Straßen und Wasserstraßen mit verkehrsträgerübergreifend und bundesweit einheitlichen Szenarienannahmen und Bewertungsschritten durchgeführt. Deutschlandweite Hinweiskarten zu Hochwasser, Niedrigwasser, gravitativen Massenbewegungen und Sturm wurden erstellt und können in verkehrsbezogene aber auch weitere Klimawirkungsanalysen einbezogen werden.

„Ausweichrouten sind möglich, aber zeit- und kostenaufwändig“

- ✓ Der Personen- und Güterverkehr, der entlang des wichtigen europäischen Transportkorridors Mittelrhein erfolgt, kann auch unter den Extremszenarien abgewickelt werden. Hierfür ist allerdings auf andere Routen oder Verkehrsträger als üblich auszuweichen, sofern ausreichend Fahrzeuge und Fahrzeugführer für zusätzliche Fahrten vorhanden sind. Große zeitliche Verzögerungen und teilweise erhebliche Mehrkosten sind die Folge.

„Häufiger Hochwasser im NOK?“

- ✓ Der Klimawandel wirkt sich in Zukunft auch auf den Betrieb des Nord-Ostsee-Kanals aus: Heute vereinzelt auftretende hohe Wasserstände, die den Betrieb des Kanals beeinträchtigen, werden gegen Ende des 21. Jahrhunderts voraussichtlich häufiger auftreten. Um den Betrieb nicht nachhaltig zu beeinträchtigen, werden Anpassungsoptionen erarbeitet.

„Klimafeste Regelwerke und Planung“

- ✓ Mögliche Anpassungsmaßnahmen an die zu erwartenden Klimaänderungen sind exemplarisch analysiert und beschrieben. Dazu gehören eine Prüfung der Regelwerke des Bahnbetriebs, verschiedene Analysen zu Aspekten des Wasserstraßenmanagements im Binnen- und Küstenbereich und materialtechnische Untersuchungen zur Hitzesensitivität des Straßenoberbaus.
- ✓ Die Verkehrsträger an veränderte zukünftige Klimabedingungen anzupassen, ist für die Verfügbarkeit der Verkehrsinfrastruktur, eine verlässliche Mobilität und den Transport von großer Bedeutung. Die Betreiber der Verkehrsinfrastruktur wie die Deutsche Bahn AG und die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes nutzen die Ergebnisse des BMVI-Expertennetzwerks bereits heute für ihre Aufgabenerfüllung.

„Umfassende Anpassungsstrategien“

- ✓ Langfristige Auswirkungen des Klimawandels auf Verkehr und Verkehrsinfrastruktur sind analysiert. Stresstests durch konstruierte Szenarien geben Einblicke in außergewöhnliche Extremsituationen und deren spezifische regionale Verkehrswirkungen. Vorhandene Verlagerungs- und Pufferkapazitäten sowie potenzielle Transportkosteneffekte sind mit bedacht. Die Modellversuche stoßen bei den netzplanenden Organisationseinheiten im BMVI bereits auf breites Interesse und werden gemeinsam weiterentwickelt.
- ✓ Das BMVI-Expertenetzwerk trägt mit seinen Erkenntnissen und Methoden dazu bei, den von der Bundesregierung im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel gegründeten „DAS Basisdienst Klima und Wasser“ praxisnah aufzubauen und weiterzuentwickeln. Dieser Klimaberatungsdienst versetzt die Betreiber der Infrastrukturen in die Lage, Anpassungsstrategien und -maßnahmen entsprechend den gesetzlichen Anforderungen klimasicher zu planen und umzusetzen.

Auswirkungen von Klimawandel und Extremereignissen auf das Verkehrssystem

Das BMVI-Expertenetzwerk hat die aktuellen und zukünftig zu erwartenden Klimaänderungen sowie deren potenzielle Folgen für die Bundesverkehrswege erstmalig auf Grundlage von aktuellen Klimaprojektionen mit einem einheitlichen Bewertungssystem bewertet. Hierfür bereiteten die beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler flächendeckende Klimaprojektionen auf, verarbeiteten diese in eigenen Klimafolgenmodellen weiter und stellten zahlreiche Analysen für verschiedene Akteure im Verkehrsbereich bereit. Für Deutschland zeigen sich weiter

ansteigende Lufttemperaturen mit häufigeren und intensiveren Temperaturextremen (Abbildung 2) und veränderte Niederschlagsmuster mit häufigeren Starkniederschlägen (Abbildung 3). Außerdem deuten die Ergebnisse auf Veränderungen der Abflussverhältnisse von Flüssen hin: Hochwasserabflüsse steigen an vielen Flussabschnitten an, Niedrigwasserphasen verlängern sich. Weiter ist mit einem beschleunigten Meeresspiegelanstieg und mit einer veränderten Tidedynamik (Abbildung 4) zu rechnen. Die Analysen zeigen ein räumlich und zeitlich differenziertes Bild, wo und ab wann in Deutschland zukünftig mit substantiellen Auswirkungen dieser klimatischen Einflüsse auf die Verkehrsträger Schiene, Straße und Wasserstraße zu

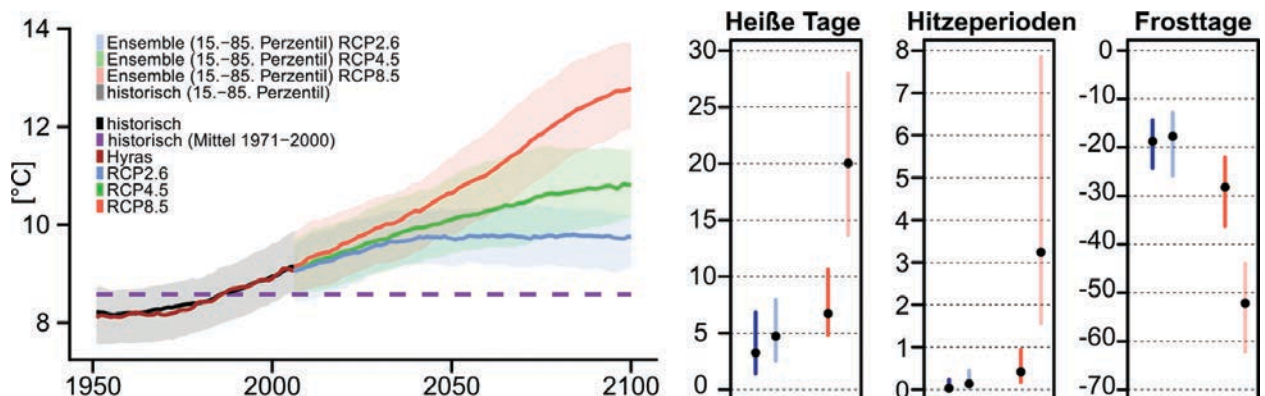


Abbildung 2: Änderung der mittleren jährlichen Lufttemperatur über Deutschland als Zeitreihe (1951–2100; als 30-jähriges gleitendes Mittel; links) unter dem Klimaschutzszenario (RCP2.6) dem moderaten Szenario (RCP4.5) und dem Weiter-wie-bisher-Szenario (RCP8.5). Dargestellt ist jeweils der Ensemblemedian als durchgezogene Linie sowie die Bandbreite des Modellensembles als schattierter Bereich. Änderungssignale bestimmter Temperaturparameter (rechts) für die nahe Zukunft (2021–2050; dunkler Farbton) und die ferne Zukunft (2071–2100; heller Farbton) im Vergleich zum Bezugszeitraum (1971–2000) unter Annahme des Klimaschutzszenarios (blau) oder des Weiter-wie-bisher-Szenarios (rot). Weitere Erläuterungen sind im Bericht des Themenfeldes 1 dargestellt (siehe Box 2).

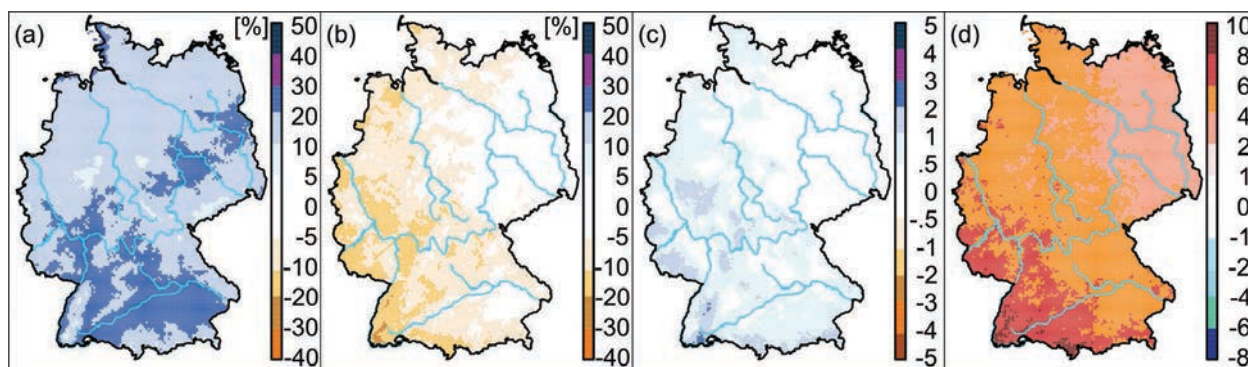


Abbildung 3: Änderungen des Medians für die mittlere Niederschlagssumme im Winter (a) und Sommer (b), der Anzahl von Starkniederschlagstagen (> 20 mm) im Winter (c) und der Anzahl der Trockentage (< 1 mm) im Sommer (d) für das Weiter-wie-bisher-Szenario in der fernen Zukunft (2071-2100) gegenüber dem Bezugszeitraum (1971-2000) in Deutschland. Die Änderungen sind für die Teilabbildungen (a) und (b) in Prozent und für (c) und (d) in Tagen angegeben. Zu weiteren Erläuterungen siehe Bericht des Themenfeldes 1 (siehe Box 2).

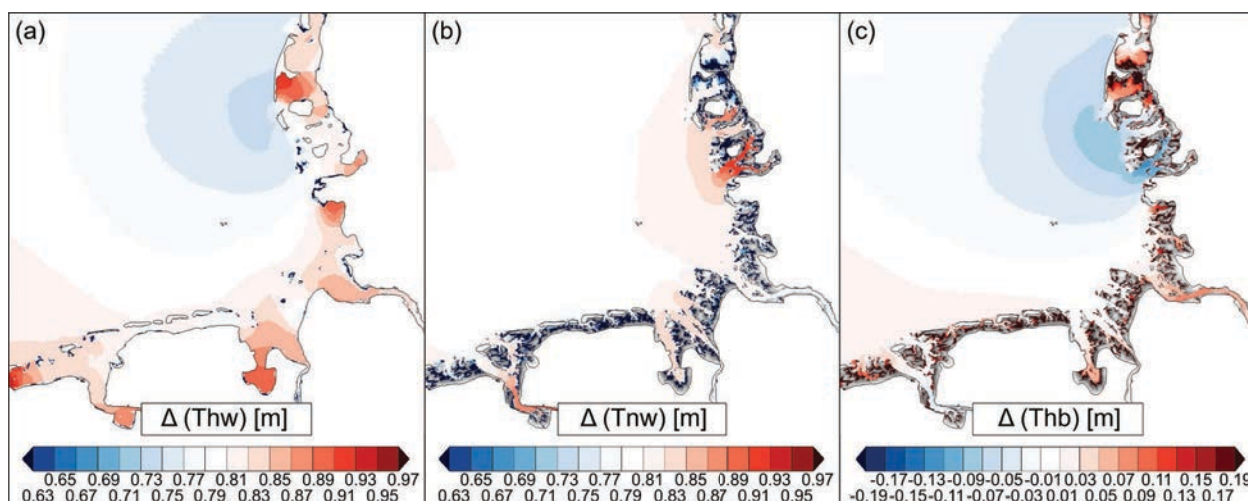


Abbildung 4: Änderung von Tidehochwasser (Thw) (a), Tideniedrigwasser (Tnw) (b) sowie Tidehub (Thb) (c) relativ zu einem Meeresspiegelanstieg von 0,8 m. Ergebnisse hydrodynamischer Sensitivitätsexperimente für die Deutsche Bucht. Weitere Erläuterungen befinden sich im Bericht des Schwerpunktthemas „Schiffbarkeit und Wasserbeschaffenheit“.

rechnen ist. Die vorliegenden Ergebnisse sind zugleich in die Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalyse des Bundes eingeflossen, welche die Weiterentwicklung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) unterstützt.

Wie stark beeinträchtigt der Klimawandel Straße, Schiene und Wasserstraße?

Die Verkehrsträger Schiene, Straße und Wasserstraße sind stark miteinander vernetzt, aber auf unterschiedliche Weise von Klimawirkungen betroffen. Die Entscheidungen über

mögliche Anpassungen machen Ansätze nötig, die alle Verkehrsträger berücksichtigen. Das BMVI-Expertennetzwerk hat erstmals eine einheitliche Basis von Zukunftssimulationen geschaffen. Alle Analysen zu Auswirkungen des Klimawandels sind nach einem einheitlichen dreistufigen Analyse- und Bewertungsschema und auf Basis derselben Projektionen aufgebaut:

1. Expositionsanalyse: In einem ersten Schritt wird die räumliche Betroffenheit durch klimatische Einflüsse (Abbildung 5) analysiert, z. B. der Ausgesetzttheit des Verkehrsträgers Schiene gegenüber Wind.

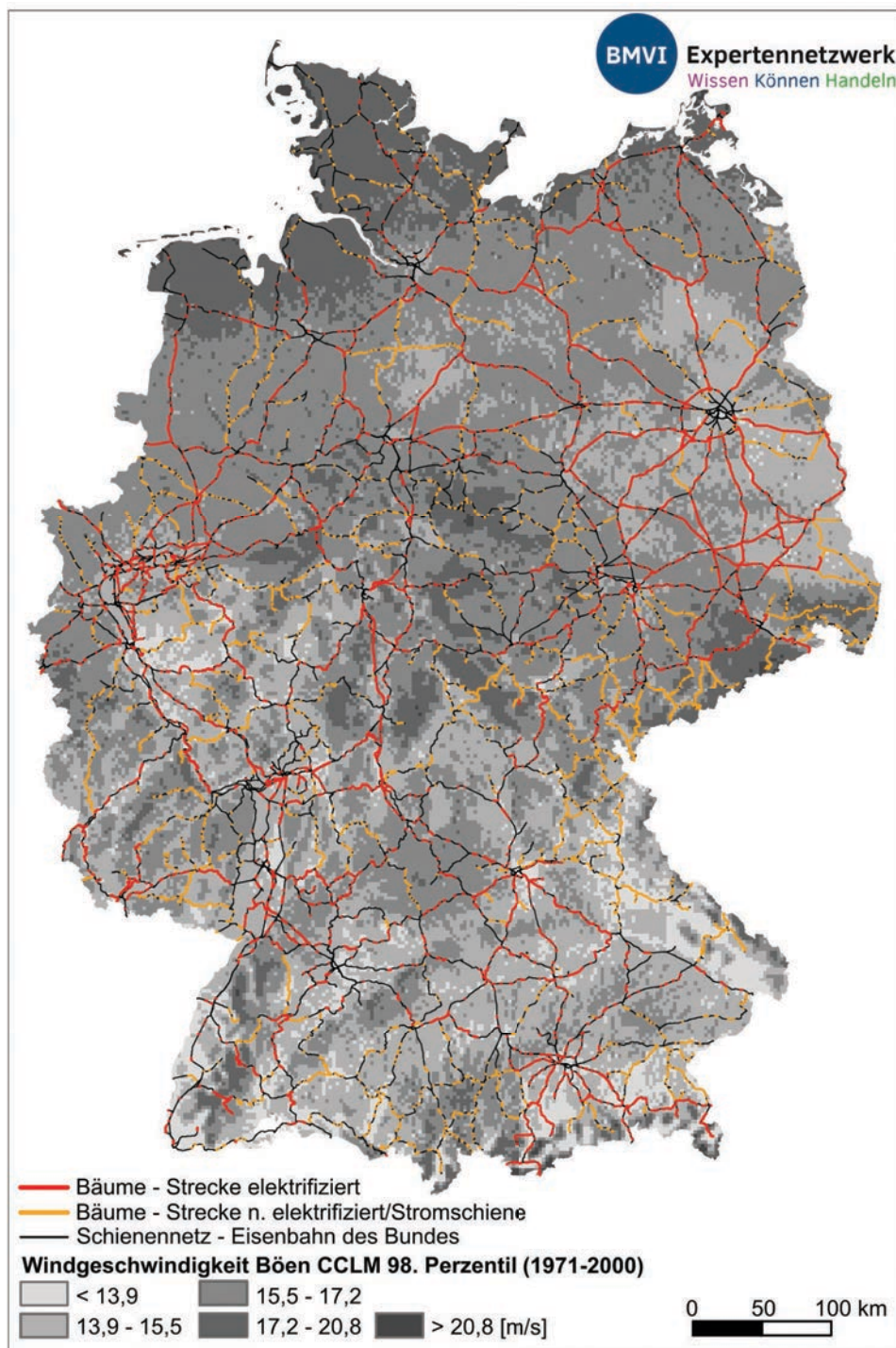


Abbildung 5: Hinweiskarte zur aktuellen Exposition und Sensitivität des Bundesschienennetzes gegenüber Sturmwurf vor dem Hintergrund hoher Windgeschwindigkeiten (98. Perzentil) aus einem Klimasimulationslauf (CCLM). Das Streckennetz der Schiene ist durch graue Linien dargestellt. Die Bereiche des Streckennetzes, mit Bäumen entlang nichtelektrifizierter Abschnitte sind gelb und jene mit Bäumen entlang elektrifizierter Streckenabschnitte rot dargestellt. Weitere Erläuterungen befinden sich in den Berichten der Schwerpunktthemen „Klimawirkungsanalyse“ und „Sturmgefahren“.

2. Sensitivitätsanalyse: In einem zweiten Schritt wird die Anfälligkeit der Infrastruktur gegenüber spezifischen Klimawirkungen identifiziert. Beispielsweise zeigen elektrifizierte Schienenabschnitte durch das Vorhandensein von Oberleitungen eine erhöhte Anfälligkeit gegenüber Stürmen.
3. Kritikalitätsanalyse: In einem dritten Schritt wird die Bedeutung unterschiedlicher Streckenabschnitte im Gesamtsystem ermittelt. So wird z. B. eine Bewertung ermöglicht, an welcher Stelle witterungsbedingte Ausfälle besonders kritisch für den Personen- und Gütertransport sind.

Der stufenweise Aufbau der Klimawirkungsanalyse strukturiert das Vorgehen (z. B. Abbildung 6) und hilft mögliche Anpassungsmaßnahmen zu priorisieren. Die im BMVI-Expertenetzwerk erstellten Hinweiskarten für ausgewählte klimatische Einflüsse und die damit verbundenen Klimawirkungen werden z. T. bereits in der Praxis genutzt. Während einige dieser Kartenprodukte als deutschlandweite Hinweiskarten zur Verfügung stehen (Stürme, Flusshochwasser, Niedrigwasser und gravitative Massenbewegungen), wurden andere Klimawirkungen zunächst in Regionalstudien (z. B. Niederrhein, Elbe, Deutsche Bucht, Nord-Ostsee-Kanal) untersucht.

Wie robust ist das Verkehrssystem gegenüber extremen Wetterereignissen?

Neben den Analysen zu den Auswirkungen auf Basis der Klimaprojektionen wurde zusätzlich analysiert, wie robust das Verkehrssystem gegenüber extremen Wetterereignissen und daraus resultierenden Naturgefahren ist. Hierzu haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Szenarien zur Sperrung bzw. Einschränkung der Verkehrswege durch extreme Hoch- und Niedrigwassersituationen oder gravitative Massenbewegungen wie Hangrutschungen konstruiert. Exemplarisch wurden die Untersuchungen für den Mittelrhein durchgeführt, ein wichtiger Abschnitt der europäischen Transportachse Rhein-Alpen. Die durch das Mittelrheingebiet führenden Verkehre wurden modellhaft auf die Netze der drei Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasserstraße umgelegt. Für die angenommenen Extremszenarien zeigen sich umfangreiche Auswirkungen auf die Transportströme. Dies schließt spontane, verkehrsträgerinterne Routenänderungen, Verlagerungen auf einen anderen Verkehrsträger sowie zeitliche Transportverschiebungen ein. Zudem steigen die Transportkosten z. T. erheblich an.

Das Szenario einer 180-tägigen Niedrigwassersituation wäre mit umfangreichen Verkehrsverlagerungen von der

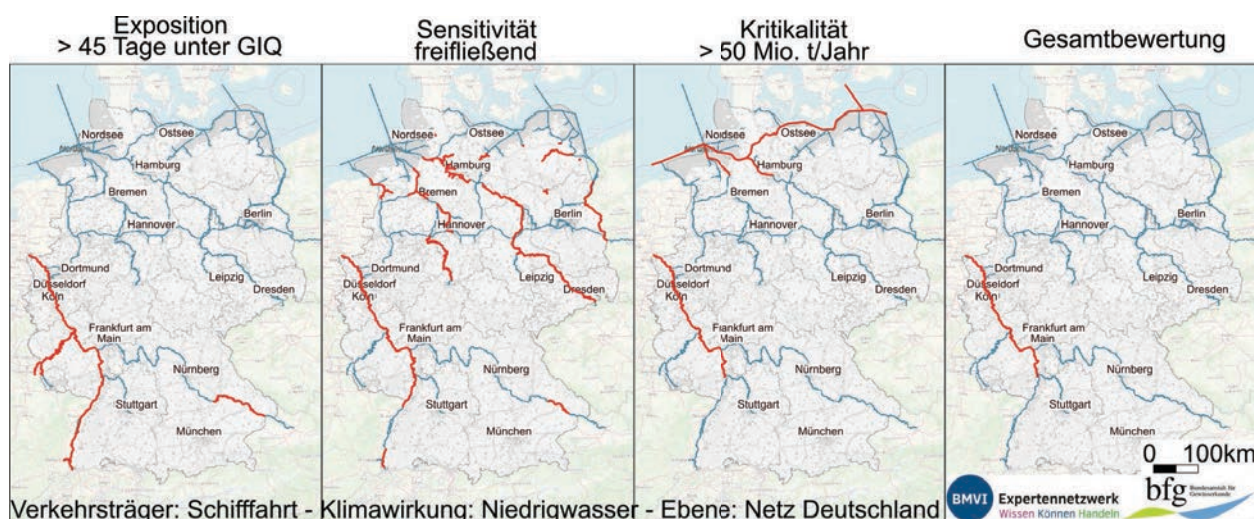


Abbildung 6: Ansatz einer integrierten Klimawirkungsanalyse für die Bundeswasserstraßen am Beispiel der Wirkungskette „Tiefenengpass, Abladebeschränkung bei Niedrigwasser“ unter Annahme des Weiter-wie-bisher-Szenarios in der fernen Zukunft (2071-2100). Rot markiert sind jeweils die Bereiche des Wasserstraßennetzes, die in den Teilanalysen zur Exposition (Anzahl Tage unter einem Niedrigwasserswellenwert, links), Sensitivität (freifließende Strecken, mitte links) und Kritikalität (Güteraufkommen; mitte rechts) sowie der Gesamtbewertung (rechts) als „besonders betroffen“ klassifiziert wurden. Das entsprechende Klassifizierungskriterium ist jeweils als Abbildungsüberschrift angegeben. GIQ: Gleichwertiger Abfluss.

Wasserstraße auf die Schiene und teilweise auf die Straße verbunden. Über die gesamte Ereignisdauer fielen für dieses Szenario die höchsten Zusatzkosten an. Ein drei Wochen andauerndes Hochwasserereignis würde das Verkehrssystem im Mittelh Rheingebiet durch die gleichzeitige Sperrung von Schienen-, Straßen- und Wasserstraßenstrecken stärker unter Stress setzen als die anderen untersuchten Szenarien, die nur einen oder zwei Verkehrsträger betreffen. Dies spiegelt sich u. a. in den höchsten täglichen Transportzusatzkosten wider. In allen Szenarien können die betroffenen Personen- und Güterverkehre unter den getroffenen, in der Realität so nicht immer anzutreffenden, Annahmen mit teilweise erheblichen Mehrkosten abgewickelt werden.

Eine weitere Vertiefungsstudie hat die Auswirkungen des Klimawandels auf den Betrieb des Nord-Ostsee-Kanals (NOK) untersucht. Der Kanal ist nicht nur eine bedeutende Schifffahrtsstraße, sondern entwässert auch weite Teile des Binnenlandes von Schleswig-Holstein. Der NOK ist wechselseitig von den Auswirkungen des Klimawandels auf der Seeseite (z. B. Änderungen des Meeresspiegels und der Tidedynamik) und der Landseite (z. B. Änderungen des Niederschlags- und Abflussgeschehens) betroffen. Hohe Außenwasserstände und zeitgleich auftretende hohe bzw. langanhaltende Niederschläge im Einzugsgebiet des NOK führten in der Vergangenheit vereinzelt zu so hohen Wasserständen im NOK, dass Fährverkehr und Schifffahrt reduziert oder eingestellt werden mussten. Gegen Ende des 21. Jahrhunderts werden solche Situationen voraussichtlich deutlich häufiger auftreten. Daher entwickelt das Experten-Netzwerk mögliche Anpassungsmaßnahmen.

Handlungsoptionen für ein robusteres Verkehrssystem

Der Verkehrssektor verfügt bereits heute über Möglichkeiten, um mit den Folgen von Klimaveränderungen umzugehen. Diese betreffen die Bereiche Information, Regelwerke, Ingenieurtechnik sowie das operative Management des Verkehrs und der Verkehrsinfrastruktur. Vor dem Hintergrund der zu erwartenden Entwicklungen müssen jedoch einige Regeln und Maßnahmen überdacht und das Maßnahmenpektrum erweitert werden. Das BMVI-Experten-Netzwerk erarbeitet hierzu Vorschläge und setzt in allen genannten Bereichen neue Impulse. So wurden beispiels-

weise die Regelwerke für den Bahnbetrieb auf relevante Klimaparameter untersucht. Ergebnis: In 59 Regelwerken zur Unterhaltung der Infrastruktur wurden 1.650 Einträge erfasst, von welchen etwa 20 % mit einem hohen Anpassungsbedarf bezüglich der zu erwartenden Klimaänderungen bewertet wurden.

Für den Asphaltoberbau von Straßen erfolgten Untersuchungen zu der Fragestellung, welche materialtechnischen Anpassungen möglich sind, um beispielsweise Spurrinnenbildungen und eine somit verkürzte Nutzungsdauer durch eine steigende thermische Belastung in den Sommermonaten zu vermeiden. Potenziale liegen u.a. im Einsatz hellerer Gesteine in der Deckschicht, welche die Asphalttemperatur mindern, oder in der Verwendung von Asphalten mit einer herabgesetzten Wärmeleitfähigkeit in der Binder- und Tragschicht.

Anhand einer Fallstudie am Niederrhein wurde untersucht, wie man durch Unterhaltungs- und Ausbaumaßnahmen an den Wasserstraßen auf veränderte Abflüsse, besonders bei Niedrigwasser, reagieren kann (Abbildung 7). Es zeigt sich, dass bei Auftreten eines ausgeprägten Niedrigwasserereignisses, die traditionellen flussbaulichen Regulierungsmaßnahmen, wie z. B. Baggerungen, an ihre Grenzen stoßen und andere Maßnahmen in den Vordergrund treten.

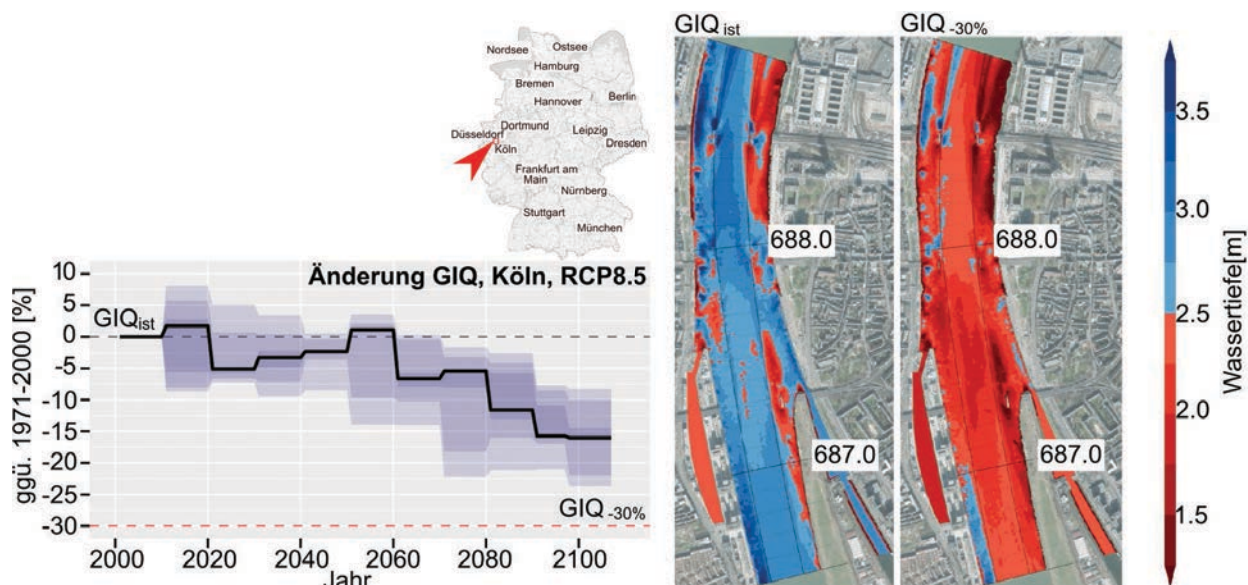


Abbildung 7: Links: Projizierte Entwicklung der Niedrigwasserabflüsse (Kenngröße „Gleichwertiger Abfluss“ (GIQ) für Unterhaltung und Ausbau der Wasserstraße) unter der Annahme des Klimaszenarios *Weiter-wie-bisher* (RCP8.5, inkl. Unsicherheitsbereich). Rechts: Berechnete Wassertiefen im Bereich der Deutzer Platte für GIQ_{ist} sowie $GIQ_{ist} - 30\%$ (extremes Szenario für das Ende des 21. Jahrhunderts). Bei stark reduziertem GIQ ist in diesem Teil der Strecke die garantierte Mindestwassertiefe von 2,50 m in der definierten Fahrrinne großflächig nicht mehr gegeben. Die Strichelung zeigt die Fahrrinne (längs) und die Hektometer-Einteilung (quer) (Luftbild: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie).

3.2 Verkehr und Infrastruktur umweltgerecht gestalten

Eine nachhaltige Verkehrspolitik vereint wachsende Mobilitätsbedürfnisse und Anforderungen an den

Umweltschutz. Es ist eine besondere Leistung des BMVI-Experten Netzwerks, spezifische Ansätze zur Bewertung und Reduktion von Umweltauswirkungen für alle Verkehrsträger zu verknüpfen und neue Erkenntnisse für einen verbesserten Umweltschutz zu generieren.



Wesentliche Ergebnisse bis 12/2019

Biodiversität: Da geht was auf Verkehrsnebenflächen!

- ✓ Es konnte nachgewiesen werden, dass Verkehrsnebenflächen ein großes bislang unterschätztes Potenzial als Lebensraum auch für geschützte und gefährdete Arten innerhalb unserer Landschaftsräume besitzen. Dieses Potenzial kann zum Erhalt und zur Förderung der Biodiversität (u. a. Insektenschutz) verstärkt weiterentwickelt werden.
- ✓ Es wurde gezeigt, dass verkehrsträgerübergreifende Ansätze hierbei besonders erfolgversprechend sind. Entsprechende Konzepte werden deshalb nun entwickelt.
- ✓ Es liegen an allen Verkehrsträger angepasste Unterhaltungsmaßnahmen zur Förderung und Vernetzung von Biodiversität vor, die verkehrsträgerübergreifend anwendbar sind.

Invasive gebietsfremde Arten: „Blinde Passagiere“

- ✓ Erstmals liegt eine Zusammenstellung des Vorkommens invasiver gebietsfremder Arten auf Verkehrsnebenflächen und eine Bewertung des von ihnen ausgehenden ökologischen Gefährdungspotenzials vor.

- Handlungsmaßnahmen, welche negative Folgen der Ausbreitung invasiver Arten minimieren können, sind für Verkehrsträger erarbeitet.
- Das Ausbreitungsmodell CASPIAN zur Prognose der potenziellen Ausbreitung von Neobiota durch Verkehrsträger und Verkehr ist entwickelt.
- Ein webbasiertes Neobiota-Informationssystem ist entwickelt und verfügbar.

Korrosionsschutz: Nutzungsdauer verlängert!

- ✓ Ursachen für die vorzeitige Ablösung von Korrosionsschutzbeschichtungen an Stahlträgerbauwerken wurden durch künstliche Bewitterung von Epoxid-Beschichtungen weiter aufgeklärt.
- Die Nutzungsdauer von Stahlträger-Deckbeschichtungen kann signifikant verlängert werden, wenn eine Bewitterung der Epoxidzwischen-schicht verhindert wird. Die erforderlichen Maßnahmen wurden bereits in die entsprechenden Regelwerke übernommen.

Hilfssystem für die Auswahl umweltverträglicher und beständiger Baustoffe

- ✓ Praktikerinnen und Praktiker sowie Expertinnen und Experten der Bauverwaltung können zukünftig über eine neue Rechercheplattform umweltverträgliche und beständige Baustoffe auswählen, nachdem das erarbeitete Konzept IT-basiert umgesetzt ist.

Luftschadstoffe: Quellen erkennen und zielgerichtete Maßnahmen empfehlen

- ✓ Die Ergebnisse einer verkehrsträgerspezifischen Modellanalyse zur Verkehrsimmission in großen deutschen Ballungsräumen liegen vor.
- Eine Modellanalyse von Schadstoffimmissionen zeigt, dass die Anteile der Verkehrsträger Schiene, Straße und Wasserstraße in Bezug auf Luftschadstoffe standortspezifisch sehr unterschiedlich sind. Die Ergebnisse unterstreichen die Notwendigkeit verkehrsträgerspezifisch zielgerichteter Maßnahmen gegenüber pauschalen Ansätzen oder Verboten.

Verkehrslärm: Neues Werkzeug zum Lärmschutz bei Überlagerung mehrerer Verkehre

- ✓ Der Leitfaden „Verfahren zur Lärminderung bei Kumulation“ beschreibt ein Verfahren für die Gesamtlärmbetrachtung aller Verkehre. Er kann bei der Umsetzung von Lärmschutzprojekten herangezogen werden, wenn mehr als ein Verursacher zu einer Lärmsituation beiträgt. Es wurde gezeigt, dass verkehrsträgerübergreifende Ansätze hierbei besonders erfolgversprechend sind. Entsprechende Konzepte werden deshalb nun entwickelt.

"Grünes Potenzial" bestimmen und biologische Vielfalt fördern

Verkehrswege trennen ursprünglich zusammenhängende Lebensräume mit negativen Folgen für Pflanzen und Tiere. Reviere werden zerschnitten und Wanderkorridore unpassierbar. Straßen, Bahngleise und Wasserstraßen sind aber nicht nur Hindernisse, sondern auch verbindende Landschaftselemente. Insbesondere die Verkehrsnebenflächen besitzen mit einem Anteil von ca. 3 % der Gesamtfläche Deutschlands (zum Vergleich: Nationalparks 0,6 %, Naturschutzgebiete 6,3 %) ein großes „grünes“ Potenzial für die Artenvielfalt und die Steigerung der Biodiversität (Abbildung 8; Abbildung 9). Die im BMVI-Expertennetzwerk durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass die Verkehrs-

nebenflächen der drei wichtigen Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasserstraße große Ähnlichkeiten in der Zusammensetzung der dort vorkommenden Arten aufweisen. Insgesamt und überregional gilt diese Ähnlichkeit sowohl für die Lebensräume als auch in Bezug auf Tier- und Pflanzenarten. Somit besteht hier ein grundsätzliches Potenzial für die verkehrsträgerübergreifende Vernetzung von Biodiversität. Ein Vergleich der bei den Verkehrsträgern vorliegenden Leitfäden zur Unterhaltung dieser Verkehrsnebenflächen verdeutlicht, dass es eine Fülle geeigneter Maßnahmen zur Förderung der biologischen Vielfalt gibt, die verkehrsträgerübergreifend erfolgreich angewandt werden können. Dieses Potenzial kann als wichtiger Beitrag zur Erhöhung der biologischen Vielfalt für ganz Deutschland verstärkt genutzt werden.

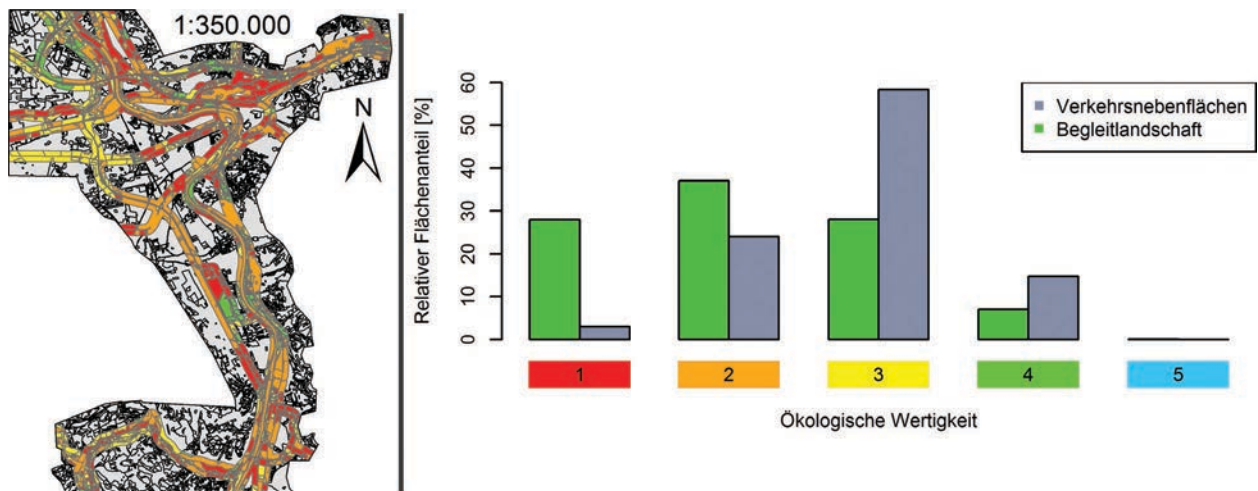


Abbildung 8: Ökologische Wertigkeit von Verkehrsnebenflächen und ihrer Begleitlandschaft. Links: Übersichtskarte des Untersuchungsraumes. Rechts: Einstufung der Biotope auf Verkehrsnebenflächen und Begleitlandschaft nach Flächenanteilen. Wertstufe 1 = sehr gering, 2 = gering, 3 = mittel, 4 = hoch, 5 = sehr hoch.



Abbildung 9: Lineare Anordnung der Verkehrstrassen von Bahn, Wasserstraße und Autobahn mit den dazugehörigen Verkehrsnebenflächen, Saar bei Fremersdorf (Bild: Bundesanstalt für Gewässerkunde).

Die verkehrsbedingte Verbreitung invasiver gebietsfremder Tier- und Pflanzenarten erfassen, verstehen und vermindern

Invasive Neobiota sind Tier- oder Pflanzenarten, die ursprünglich nicht in Deutschland vorkommen, sondern sich erst durch den Einfluss des Menschen etablieren konnten. Sie wirken sich negativ auf einheimische Arten, Lebensgemeinschaften oder Biotope aus und gelten als eine der größten Bedrohungen für die heimische Artenvielfalt. Aber auch wirtschaftliche und für den Menschen gesundheitliche Schäden werden durch einige dieser Arten verursacht. Verkehr und Verkehrsinfrastruktur spielen eine wichtige Rolle bei der Verbreitung invasiver Arten, die mit Auto, Lkw, Bahn, Schiff oder Flugzeug als „blinde Passagiere“ reisen. Das BMVI-Expertennetzwerk hat erstmals systema-

tisch gesucht und zahlreiche Neobiota an den Schiffskörpern von Binnenschiffen und Sportbooten sowie in Häfen und Verkehrsnebenflächen identifiziert. Da Beseitigungsmaßnahmen bereits etablierter invasiver Arten mit erheblichem personellem und finanziellem Aufwand verbunden sind, gilt es, vorbeugende Maßnahmen zu ergreifen und so die Verbreitung invasiver Arten einzudämmen. Das BMVI-Expertennetzwerk hat daher ein neues Modell entwickelt, welches die Ausbreitungsrouten und -geschwindigkeit von Neobiota entlang der Verkehrsachsen prognostiziert (Abbildung 10; Abbildung 11). Vorbeugende Maßnahmen zur Bekämpfung von invasiven Arten können künftig wesentlich früher eingeleitet werden, da das zusätzlich aufgesetzte, webbasierte Neobiota-Informationssystem eine Warnfunktion besitzt.

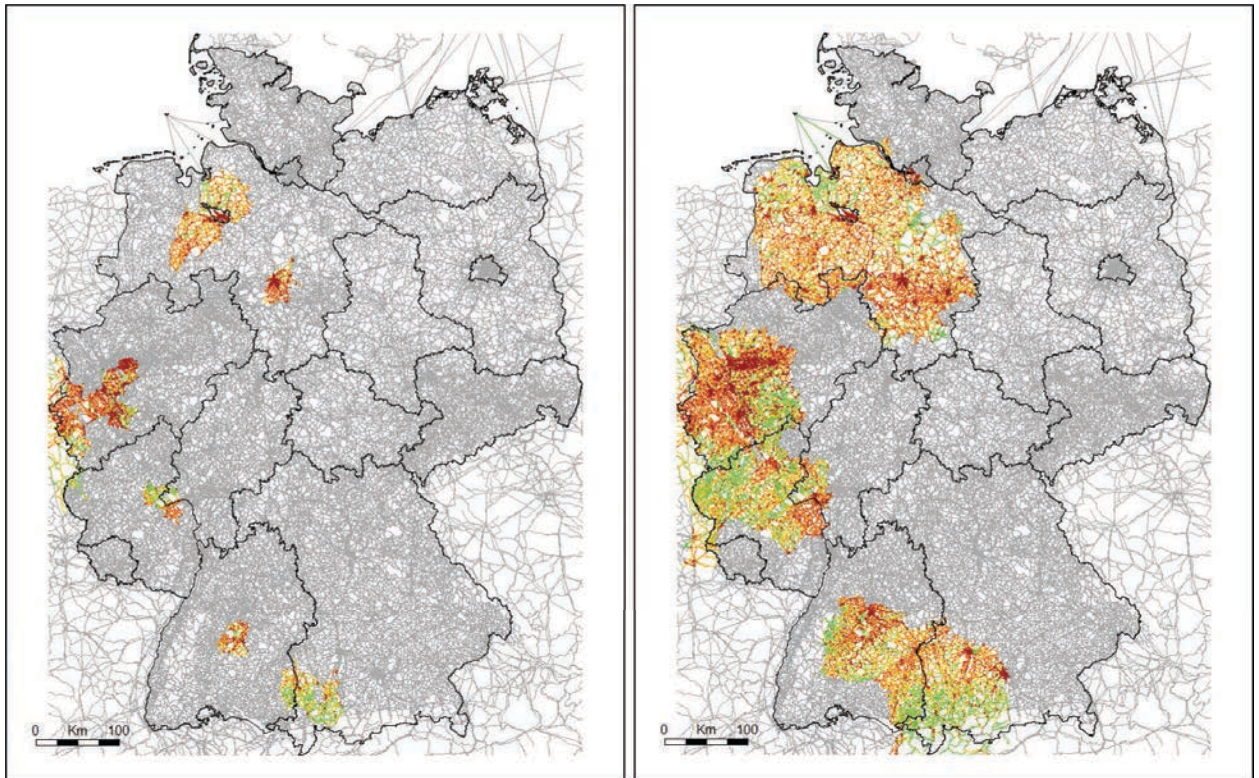


Abbildung 10: Simulation der Ausbreitung des Schmalblättrigen Greiskrautes (*Senecio inaequidens*) durch die Verkehrsträger Straße und Schiene nach 4 Monaten (links) und 5 Jahren (rechts). Grün: geringe Invasionswahrscheinlichkeit, rot: hohe Invasionswahrscheinlichkeit (Kartengrundlage: OpenStreetMap).



Abbildung 11: Schmalblättriges Greiskraut (Bild: Bundesanstalt für Gewässerkunde).

Schadstoffquellen erkennen und zielgerichtete Maßnahmen empfehlen

Verkehrsbedingte Luftschadstoffe sind als gesundheits- und umweltgefährdende Emissionen bekannt, die es in den nächsten Jahren bei steigender Mobilität weiter zu reduzieren gilt. Das BMVI-Expertennetzwerk hat mithilfe funk- und satellitengestützter Verkehrsdaten die Emissionen der einzelnen Verkehrsträger (z. B. Lastkraftwagen, Binnenschiffe, Eisenbahn, Seeschiffe) im Detail betrachtet. Darüber hinaus wurde eine komplexe Modellanalyse zu Schadstoffimmissionen in den Ballungsräumen Hamburg, Duisburg und Frankfurt a.M. durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass Luftschadstoffgrenzwertüberschreitungen kaum einzelnen Verkehrsarten zugeordnet, sondern überwiegend durch sehr unterschiedliche Anteile von Straßen-,

Schiffs-, Flug- und Bahn-Emissionen verursacht werden (Abbildung 12). Dies bedeutet, dass lokal jeweils verkehrsträgerspezifisch zielgerichtete Maßnahmen zu entwickeln sind, statt pauschaler Ansätze.

Neben Luftschadstoffen sind auch die Lärmemissionen des Verkehrssystems relevant. Viele Menschen in Deutschland fühlen sich durch Verkehrsgläusche dauerhaft belästigt. Verkehrsbedingte Schallquellen haben unterschiedliche Frequenzspektren, die es bei der Gesamtlärmmittlung zu berücksichtigen gilt (Abbildung 13). Das BMVI-Expertennetzwerk hat in einer Modellstadt verschiedene repräsentative Gebiete mit dem Ziel untersucht, Maßnahmen zur Lärmminderung bei gebündeltem Auftreten mehrerer Schallquellen abzuleiten.

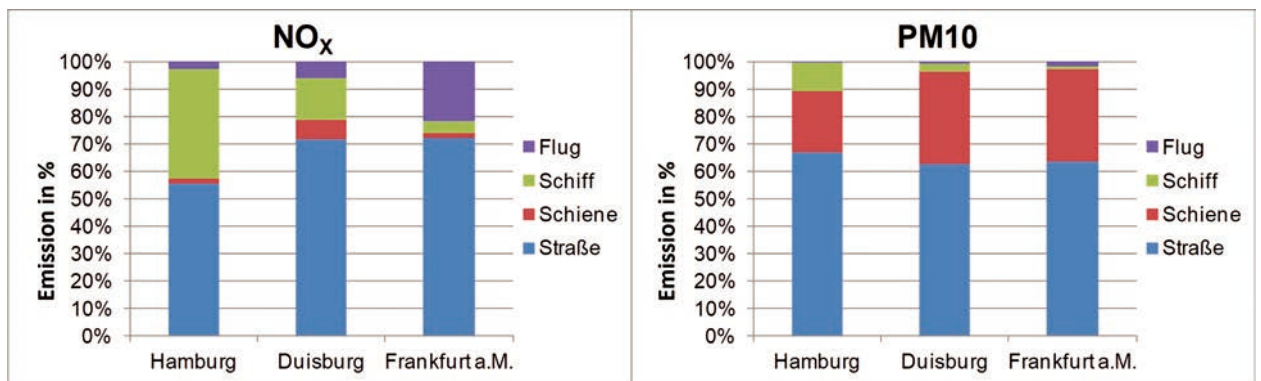


Abbildung 12: Emissionsanteile der Verkehrsträger im Jahr 2016 in den drei Ballungsräumen Hamburg, Duisburg und Frankfurt a.M. und jeweils für Stickoxide NO_x (links) und Feinstaubpartikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von weniger als 10 Mikrometer (PM₁₀) (rechts).



Abbildung 13: Lärmmessung am Rhein in Koblenz (Bild: Bundesanstalt für Gewässerkunde).

Auswahl umweltverträglicher Materialien erleichtern

Bauwerke der Verkehrsinfrastruktur sind starken Belastungen durch Verwitterung und Abnutzungsprozessen ausgesetzt. Dies führt zu Schäden an den Bauwerken selbst, aber auch zur Freisetzung von Stoffen, deren Umweltrelevanz oft unbekannt ist. Das BMVI-Expertennetzwerk konnte Gründe für vorzeitige Ablösungsprozesse (Abbildung 14) von häufig verwendeten Stahlträger-Deckbeschichtungen weiter aufklären. Durch gezielte Maßnahmen, die gemeinsam von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern mit Praktikerinnen und Praktikern entwickelt wurden, verlängert sich die Nutzungsdauer der Deckbeschichtungen

von Stahlbauten im Straßen- und Brücken- sowie auch im Wasserbau signifikant. Diese Empfehlungen des BMVI-Expertennetzwerks hat die Praxis bereits aufgenommen und in die entsprechenden Regelwerke überführt. Des Weiteren wurden im BMVI-Expertennetzwerk die Grundlagen zum Aufbau eines Entscheidungssystems für die Praktikerinnen und Praktiker gelegt, damit diese – in Abhängigkeit von den spezifischen Einsatzzwecken – langlebige und gleichzeitig umweltverträgliche Baumaterialien auswählen können. Dieses System wird neben der Nutzungsdauer auch Informationen über die Freisetzung umweltrelevanter Stoffe sowie Gefahrenhinweise bei Einbau und der Verwendung der Materialien beinhalten.



Abbildung 14: Schadensfall aus dem Wiederlagerbereich einer Brücke mit abgängiger blauer Polyurethan-Deckbeschichtung (Bild: Bundesanstalt für Straßenwesen).

3.3 Verlässlichkeit der Verkehrsinfrastrukturen erhöhen

Zunehmender Verkehr, die Überalterung der Verkehrsinfrastruktur, der Klimawandel und Wetterextreme sowie hohe Qualitätsanforderungen bei begrenzten Haushaltsmitteln stellen große Herausforderungen für das Verkehrsinfrastrukturmanagement dar. Das BMVI-Expertenetzwerk führt innovative Ansätze für die Verkehrsträger

Straße, Schiene und Wasserstraße zusammen, die Optimierungspotenziale bei der Erfassung des Bauwerksbestands, der Beurteilung seiner Zuverlässigkeit und der Beschleunigung von Baumaßnahmen aufzeigen und nutzbar machen. Es leistet so einen Beitrag dazu, auch in Zukunft ein verlässliches und resilientes Verkehrssystem bereitstellen zu können. Im Fokus standen während der zurückliegenden Phase Ingenieurbauwerke sowie eine übergeordnete Betrachtung der Systeme auf Netzebene.



Wesentliche Ergebnisse bis 12/2019

Bauwerkskontrolle und -unterhaltung: Ergänzende Werkzeuge am Puls der Zeit

- ✓ Fernerkundung, künstliche Intelligenz und trainierte Neuronale Netze zur Beschleunigung von Zustandserfassungen bei Infrastrukturbauwerken stehen der Praxis zur Verfügung.
- ✓ Effektive und kostengünstige „Smart Repair“-Verfahren von Korrosionsschutz-beschichtungen für Stahlwasserbauwerke wurden entwickelt.
- ✓ In Workshops und durch E-Learning-Angebote werden Mitarbeitende der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes im Bereich „Smart Repair“-Verfahren geschult. Diese Veranstaltungen stoßen auf großes Interesse bei den Anwenderinnen und Anwendern, da sich das erarbeitete Wissen direkt in die Praxis umsetzen lässt.

Bewertungsrahmen für ein widerstandsfähigeres Verkehrssystem geschaffen

- ✓ Ein verkehrsträgerübergreifender konzeptioneller Bewertungsrahmen wurde entwickelt, um die Resilienz, also die Widerstandsfähigkeit, des Verkehrssystems gegenüber störenden Ereignissen wie extremen Wetterereignissen (z. B. verursacht durch Klimawandel) zu erhöhen.
- ✓ Handlungshilfen in Form eines Leitfadens und eines anwendungsfreundlichen, softwarebasierten Tools für die Straßenbauverwaltung stehen zur Verfügung.

Erweiterte Standardisierung von Brückenbauwerken in die Praxis überführt

- ✓ Vorschläge des BMVI-Expertenetzwerks für eine erweiterte Standardisierung von Eisenbahnbrücken bis 16 m Länge fließen in die Neufassung einer entsprechenden DB-Richtlinie ein.

Drohnen und künstliche Intelligenz für die Bauwerksprüfung nutzen

Die regelmäßige Bauwerksprüfung von Ingenieurbauwerken ist sicherheitsrelevant, aber sehr aufwändig. Dies gilt insbesondere für "handnahe" Prüfungen, bei denen Ingenieurinnen und Ingenieure jeden Bereich eines Bauwerks unmittelbar in Augenschein nehmen, um beispielsweise Risse zu erkennen und zu bewerten. Das BMVI-Expertenetzwerk hat in Fallstudien moderne Technologien der Fernerkundung und der künstlichen Intelligenz kombiniert

und Verfahren entwickelt, um den Zustand der Bauwerke effizienter und effektiver zu erfassen. Dabei wurden Flugrouten und Kamerapositionen für Drohnen automatisch generiert (Abbildung 15, Abbildung 16), um mit geringem Personal- und Zeiteinsatz, digitales Bildmaterial aller relevanten Bauwerksbereiche zu beschaffen. Neuronale Netze wurden trainiert, um aus dem Bildmaterial geschädigte Bereiche automatisch zu identifizieren (Abbildung 17). So wird die handnahe Prüfung optimal vorzubereitet und der Zeitaufwand reduziert.



Abbildung 15: Die Erfassung des Zustandes von Bauwerken wird durch den Einsatz von Drohnen erheblich vereinfacht. Dargestellt ist ein Drohneneinsatz am Wehr Koblenz, Mosel am 27.11.2018 (Bild: Bundesanstalt für Wasserbau).

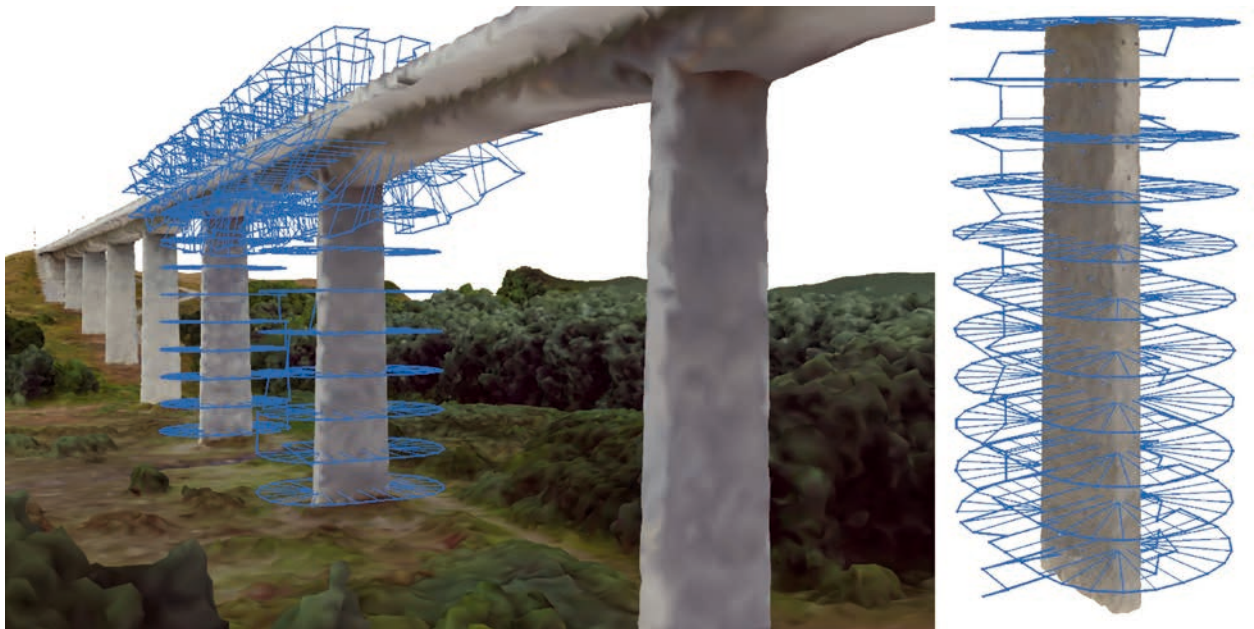


Abbildung 16: Befliegungsrouten für Drohnen können automatisch generiert werden. Sie erlauben eine optimale Verortung der Aufnahmen. Hier wurden Erkenntnisse und Programme aus den Bereichen Hochbau und Fernerkundungsmethoden in Verbindung mit eigenen Feldversuchen genutzt (Bild: Morgenthal et al.³).

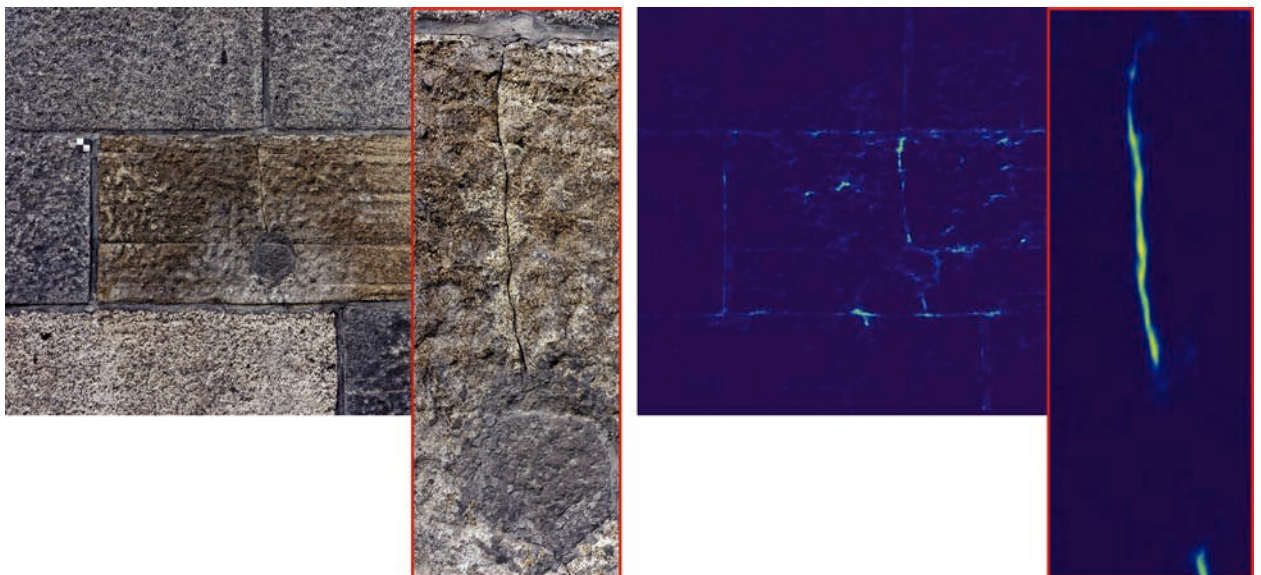


Abbildung 17: Eine automatische Bildanalyse, die Verfahren der künstlichen Intelligenz nutzt, erleichtert die Detektion und Verortung von geschädigten Bereichen. Das Beispiel zeigt einen Riss in einem Brückenpfeiler. (Bild: Morgenthal et al.³).

³ Morgenthal, G.; Rodehorst, V.; Hallermann, R. Unterstützung der Prüfung gemäß DIN 1076 durch (halb-) automatisierte Bildauswertung u. a. mittels UAV (unmanned aerial vehicles). Schlussbericht zu FE 89.0334 im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST).

Gewappnet für den Ernstfall

Im Verkehrssystem kann es durch "disruptive Ereignisse" zu Systemstörungen und Unterbrechungen des Verkehrs kommen. Hierzu zählen Unfälle, Brände, aber auch extreme Wetterereignisse, die infolge des Klimawandels in der Zukunft häufiger zu erwarten sind (siehe Kap. 3.1). Das Ziel des Verkehrsinfrastrukturmanagements ist es, das Verkehrssystem „resilient“, also widerstandsfähig, gegenüber diesen Ereignissen zu gestalten. Das BMVI-Expertennetzwerk unterstützt dieses Ziel, indem es einen verkehrsträgerübergreifenden konzeptionellen Bewertungsrahmen schafft und gezielt methodische Entwicklungen vorantreibt. So wurde beispielsweise für die Straße eine Methodik erarbeitet, mit der bestehende Verkehrsinfrastrukturen hinsichtlich ihrer Resilienz analysiert und Maßnahmen in Bezug auf Resilienzwirkung und Kosten-Wirksamkeits-Verhältnis bewertet werden. Seitens des Verkehrsträgers Schiene wurden potenzielle Änderungen aktueller Regelwerke vor dem Hintergrund meteorologischer Extremereignisse ausgearbeitet. An Wasserstraßen wurden verbesserte Methoden der kurzfristigen Frühwarnung („Nowcasting“) erprobt. Diese ermöglichen eine vorausschauende Staustufenregelung im Fall von Starkniederschlägen und dienen dem Schutz der Verkehrsinfrastruktur.

Baumaßnahmen durch innovative Verfahren und Standardisierung beschleunigen

An Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der Verkehrsinfrastruktur werden hohe Anforderungen gestellt. Sperrzeiten mit Nutzungsausfällen oder erheblichen Nutzungseinschränkungen aufgrund von Instandsetzungen oder Neubaumaßnahmen sind so weit wie möglich zu reduzieren. Außerdem sollen die zur Verfügung stehenden Ressourcen unter Berücksichtigung des kompletten Lebenszyklus der verschiedenen Bauwerke optimal eingesetzt werden. Diesen Aspekten widmet sich das BMVI-Expertennetzwerk durch Weiterentwicklung von effizienten und innovativen Bau- und Reparaturverfahren sowie Beiträgen zu einem umfassenden Lebenszyklusmanagement.

Effektive und kostengünstige „Smart Repair“-Verfahren von Korrosionsschutzbeschichtungen, die für Stahlwasserbauwerke entwickelt wurden, können nun frühzeitig von dem unterhaltenden Personal selbst ohne den Einsatz externer Unternehmen umgesetzt werden (Abbildung 18). So werden Instandsetzungsintervalle und die Nutzungsdauer von Stahlbauteilen deutlich verlängert. Für Eisenbahnbrücken über Straßen mit bis zu 16 m Länge (d.h. 80 % des Bestands) liegen u.a. Vorschläge für eine erweiterte Standardisierung vor. Durch die verkehrsträgerübergreifende Zusammenarbeit ist nun die Grundlage geschaffen, die



Abbildung 18: Smart Repair. Anhand von Versuchsprobenplatten wird durch kontinuierlichen Salzsprühnebel eine beschleunigte Alterung mit erhöhtem Korrosionsdruck für viele unterschiedliche Materialien und Korrosionsschutzbeschichtungen simuliert. Anhand dieser umfangreichen Wissensbasis kann die ideale Reparaturmaßnahme schnell ermittelt und so die Instandsetzung von Stahlbauteilen vereinfacht und beschleunigt werden (Bilder: Bundesanstalt für Wasserbau).

gewonnenen Erkenntnisse zwischen Schiene, Straße und Wasserstraße auszutauschen und wechselseitig zu verfeinern. Das gesteckte Ziel, Sperrzeiten und Nutzungsausfälle zu reduzieren, rückt damit deutlich näher.

Relevanz für die Praxis

Erste Schritte, die Erkenntnisse aus den genannten Aktivitäten in der Praxis nutzbar zu machen, wurden bereits unternommen. Empfehlungen zur Resilienzbewertung sowie Maßnahmen zur Verbesserung der Reaktions- und Wiederherstellungsphase für die Straßenverkehrsinfrastruktur nach disruptiven Ereignissen wurden erarbeitet und in einen Leitfaden für die Straßenbauverwaltungen überführt. Die Erfahrungen zur modellgestützten, prädiktiven Staustufensteuerung wurden zur Weiterentwicklung der Reglerstruktur einer Neckar-Staustufe genutzt. Für die Schiene bestehen hier Anknüpfungspunkte, wenn ähnliche Prozesse zur Anpassung der Regelwerke von den Erfahrungen an der Wasserstraße profitieren können.

3.4 Digitale Technologien konsequent weiterentwickeln und anwenden

Das Forschungsformat "BMVI-Expertennetzwerk" und das breite Wissensspektrum seiner Netzwerkpartnerinnen und -partnern bieten Raum und Anlass, gemeinsam neue Nutzungsmöglichkeiten digitaler Technologien zu erschließen. Von Arbeiten im Bereich "Big Data", "Virtual und Augmented Reality" sowie Standardisierung, Automatisierung und Autonomisierung profitieren nicht nur die institutionsübergreifenden Arbeitsabläufe der im BMVI-Expertennetz-

werk zusammenarbeitenden Behörden. Das wechselseitige Lernen und die konsequente Entwicklung digitaler Technologien zielen auch auf neue Impulse für das Verkehrssystem und die Mobilität insgesamt.

Der Begriff „Big Data“ bezeichnet sehr große Datenmengen, die weit außerhalb der Verarbeitungskapazität des Menschen stehen. Die Herausforderung bei Big Data ist die Auswertung der Datensätze, welche oft nicht nur auf einem Datenträger oder Rechner vorliegen, sich schnell verändern oder in Ihrer Struktur nicht zueinander passen.

„Virtual Reality“ und „Augmented Reality“ bezeichnen Möglichkeiten, digitale Daten für den Menschen visuell erfassbar zu machen. Bei Virtual Reality werden alle Informationen virtuell dargestellt, also inkl. der Umgebung. Bei Augmented Reality werden Informationen in das reale Sichtfeld, in der Regel mittels Brillen, eingefügt.

Ein weiteres wichtiges Zukunftsthema ist die Autonomisierung des Verkehrs. Im Bereich der automatisierten und zukünftig autonomen Schifffahrt sind beispielsweise die Vernetzung von Systemen an Bord und der Informationsaustausch mit der digitalisierten maritimen Landinfrastruktur wichtige Voraussetzungen, um die Sicherheit zu steigern und die Umweltfreundlichkeit durch Optimierung von Prozessen an Bord und Verkehrsabläufe auf See und Wasserstraßen zu verbessern. Von entscheidender Bedeutung ist hierbei wiederum die Standardisierung der Datenformate um einen effektiven Informationsaustausch zwischen den einzelnen Systemen und Anwendungen zu gewährleisten.



Wesentliche Ergebnisse bis 12/2019

Digitale Technologien für die Praxisanwendung vorbereitet

- ✓ Das BMVI-Expertennetzwerk hat dazu beigetragen, aktuelle Themen der Digitalisierung für komplexe Planungs-, Betriebs- und Prüfungsprozesse im Verkehrssystem zu erschließen.
 - Komplexe Flugwetterdaten sind in einer standardkonformen und maschinenlesbaren Form in die neu entstehende Flugverkehrsdateninfrastruktur ("SWIM" System Wide Information Management) integriert.

Digitale Trends auf Praxisnutzen bewertet

- ✓ Aktuelle Trends und Potenziale im Bereich der automatisierten und autonomen Schifffahrt wurden analysiert und aktuelle Herausforderungen bewertet.
 - Die Vernetzung von Systemen an Bord und der Informationsaustausch mit der digitalisierten maritimen Landinfrastruktur sind die Voraussetzungen für zunehmend automatisierte und zukünftige autonome Schifffahrt, um die Sicherheit auf See zu steigern und die Umweltfreundlichkeit durch Optimierung von Prozessen an Bord, wie der Steuerung der Maschinenanlage zur Optimierung des Treibstoffverbrauches und von Verkehrsabläufen, zu verbessern.
- ✓ Die Effizienz von Inspektionsprozessen wird bei der Instandhaltung der Infrastruktur gesteigert, indem Zustandsveränderungen von Bauwerken durch neue digitale Systeme erfassbar werden.
 - "Big Data", "Virtual Realities" oder "Augmented Realities", "System Wide Information Management" und "Building Information Modeling" können zur Beschleunigung, Qualitätssicherung, Integration, Automatisierung oder Automatisierung von vielen Prozessschritten im Verkehrsbereich beitragen.

Datenflüsse und Workflows durch Big Data-Technologien und Standardisierung vereinfachen und beschleunigen

Die Zusammenarbeit über Institutionsgrenzen hinweg wird nicht selten durch uneinheitliche Datenformate behindert. Im Kontext interdisziplinärer Forschung liegt dies u. a. in der vielfältigen, teilweise für einen speziellen Forschungskontext entwickelten Auswertungssoftware. Das BMVI-Expertennetzwerk hat hier eine Sachstands- und Potenzialanalyse bei den beteiligten Behörden durchgeführt. Neben der Optimierung einiger institutionsinterner Prozesse bietet insbesondere das wechselseitige Lernen im Netzwerk bei der Verarbeitung von Massendaten vielversprechende Möglichkeiten. Hier kamen u. a. neue Formen der Datenaufbereitung mit standardisierten Werkzeugen zum Einsatz, die im Zusammenhang mit "Big Data"-Anwendungen entwickelt wurden. Die Standardisierung von Schnittstellen zwischen den Systemen ist auch ein Schlüssel zur Effizienzsteigerung im Verkehrsmanagement. Die Vorzüge einer standardisierten Datenübertragung wurden für den Flugverkehr erstmalig demonstriert. Dabei konnten komplexe Flugwetterdaten in einer standardkonformen

und maschinenlesbaren Form in eine neu entstehende Flugverkehrsdateninfrastruktur ("SWIM" System Wide Information Management) mit verbesserten Datenaustauschtechniken integriert werden.

Innovative Trends für verkehrsbezogene Prozesse erschließen

Entwicklungen im Verkehrsbereich sind seit jeher stark technologiegetrieben. Das BMVI-Expertennetzwerk hat aktuelle Trends im Kontext der Digitalisierung untersucht und an verschiedenen Beispielen deren Potenziale aufgezeigt. Beispielsweise können virtuelle, simulierte Realitäten oder virtuell erweiterte Realitäten bei Prozessen sehr hilfreich sein, bei denen durch die Anwendung der Technologien die Vorstellbarkeit komplexer Datenstrukturen (z. B. Simulationsergebnisse) verbessert wird oder um eine schnelle Auffassung und Erfassung von vielfältigen Informationen zu erreichen. Hierbei wird im BMVI-Expertennetzwerk analysiert, wie Technologien der Augmented Reality und Virtual Reality dabei helfen können, die Effizienz von Inspektionsprozessen in der Instandhaltung der Infrastruktur zu steigern, indem relevante Daten zum Bau-

werk und zu dessen Zustandsveränderungen für Fachleute visuell dargestellt werden. Ein weiteres wichtiges Zukunftsthema ist die Autonomisierung des Verkehrs. Die Ergebnisse einer Umfeldanalyse des BMVI-Expertennetzwerks in Bezug auf die autonome Seeschifffahrt bescheinigen dem Prozess der Autonomisierung ein hohes Potenzial, die Sicherheit auf See zu steigern und die Umweltfreundlichkeit der Seeschifffahrt zu erhöhen. Es ist dabei zu erwarten, dass automatisierte Systeme aufgrund der steigenden Verfügbarkeit von verarbeitbaren Informationen auf Dauer bessere Entscheidungen treffen, die auch zu einer Einsparung von Treibstoffen führen wird.

Im Bereich des Infrastrukturmanagements zeigt das Thema „Building Information Modeling“ (BIM, deutsch: Bauwerksdatenmodellierung) großes Potenzial. Es beschreibt eine Methode der vernetzten Planung, Ausführung und Bewirtschaftung von Bauwerken mithilfe von Software. Dieses Instrument ist derzeit primär auf Hochbauprojekte ausgerichtet, soll aber nach der Strategie des BMVI auf die Bau-

werke im Verkehrsbereich erweitert werden. Das BMVI-Expertennetzwerk hat Schritte identifiziert, mit denen BIM in Richtung eines einheitlichen Systems für die Bewirtschaftung von Bauwerken im gesamten Verkehrsnetz entwickelt werden kann.

Relevanz für die Praxis

Erste Schritte, die Erkenntnisse aus den genannten Aktivitäten in der Praxis nutzbar zu machen, wurden bereits unternommen. Empfehlungen zur Überarbeitung der Regelwerke für das automatisierte Fahren auf der Schiene und im Wasser wurden erstellt und bereits in Fachgremien besprochen. Für die Standardisierungen der Datenhaltung und -übertragung wurde mit SWIM ein international erarbeiteter Vorschlag unterstützt und mit definiert. Auch die Datenhaltung in den Behörden wurde untersucht, woraus erste Konzepte für eine behördenübergreifende Auswertung von Daten entstanden sind.



Abbildung 19: Hochleistungsrechner (Bild: Bundesanstalt für Wasserbau)

3.5 Erneuerbare Energien für Verkehr und Infrastruktur erschließen und nutzen

Der Klimaschutz ist nicht erst seit Unterzeichnung des Pariser Klimaschutzabkommens in vielen Sektoren ein wichtiges Element nachhaltigen Handelns. Auch im Bereich des Verkehrs, der ca. 20 % (Jahr 2019⁴) zu den Treibhausgasemissionen in Deutschland beiträgt, ist es wichtig, immer

weiter nach Möglichkeiten für eine effizientere Energienutzung und den Einsatz erneuerbarer Energien zu suchen. Der Klimaschutzplan 2050 und das Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung unterstreichen die Bedeutung der Nachhaltigkeit und von Aktivitäten zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen. Eingebettet in vielfältige Initiativen des BMVI hat das BMVI-Expertennetzwerk speziell den Bereich der Verkehrsinfrastruktur und des Verkehrsbetriebs analysiert.



Wesentliche Ergebnisse bis 12/2019

Einsatzpotenziale erneuerbarer Energiesysteme erkannt

- ✓ Die Eignung neuer hochaufgelöster klimatologischer Datensätze für praktische Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für den Einsatz erneuerbarer Energien wurde demonstriert.
- ✓ Eine verkehrsträgerübergreifende Perspektive hilft, die Einsatzpotenziale erneuerbarer Energien für Verkehr und Infrastruktur besser zu erschließen.

Wege zu einer klimafreundlicheren Verkehrsverwaltung aufgezeigt

- ✓ Es gibt erhebliche Einsatzpotenziale regenerativer Energien im Verkehrssystem. Beispielsweise steigt die Energieabdeckung des Pumpbetriebs des Mittelland- und Elbe-Seitenkanals mit erneuerbaren Energien von 14 % auf über 99 %, wenn außer den Gebäudeflächen der örtlichen Liegenschaften der WSV auch Flächen von Lärmschutzwänden und -wällen an nahegelegenen Straßen mit Photovoltaikanlagen ausgestattet werden.
- ✓ Bestehende Möglichkeiten und Hemmnisse klimafreundlicher Entwicklungen im Bereich der Betriebsfahrzeugflotten wurden aufgezeigt. Die Wirtschaftlichkeit batteriebetriebener Antriebe gegenüber herkömmlichen Dieselmotoren hängt stark von der Eigenstromnutzung ab. Netznutzungsentgelte und daran gekoppelte Abgaben und Umlagen entfallen dann.
- ✓ Die aufgezeigten Möglichkeiten klimafreundlicher Entwicklungen in den Bereichen Verkehr (Betriebsfahrzeugflotten), Verkehrsbetrieb (optimierte Steuerung der Stauhaltung von Schifffahrtskanälen) und Verkehrsinfrastruktur setzen Impulse in laufenden Initiativen wie die "klimaneutrale WSV" oder das "Innovationsprogramm Straße", an dem auch Straßenbetriebsdienste als Stakeholder beteiligt sind.

⁴ BMU (2020). Klimaschutz in Zahlen - Fakten, Trends und Impulse deutscher Klimapolitik Ausgabe 2020, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, Berlin.

Den Energieverbrauch auf Basis detaillierter Bedarfsanalysen optimieren

Den Verkehrsträgern Schiene, Straße und Wasserstraße ist gemeinsam, dass ausreichend Energie zur Bewirtschaftung und Unterhaltung der Verkehrsinfrastruktur sowie der Aufrechterhaltung des Betriebes benötigt wird. Bevor der Energieverbrauch optimiert oder der Einsatz erneuerbarer Energie geplant wird, muss der Energiebedarf mit Hauptverbrauchern, verwendetem Energiemix, Zeitverhalten und Einsparpotenzialen im Detail bekannt sein. Das BMVI-Expertennetzwerk hat mit seinem verkehrsträgerübergreifenden Untersuchungsansatz dazu vertiefte Erkenntnisse ermöglicht.

Im Bereich Straße wurden die Energieverbräuche u. a. der Autobahnmeistereien (Strom, Wärme und Kraftstoff) und Verkehrsleitzentralen (Strom) untersucht, wobei sich bei den Meistereien ein höherer Stromverbrauch in den Wintermonaten mit häufigerem Auftreten von Lastspitzen abzeichnet. Für die Wasserstraße wurde insbesondere der Energiebedarf ausgewählter Pumpwerke analysiert. Im Gegensatz zur Straße zeigt sich dort im Winter ein verminderter Energieverbrauch. Im Bereich Schiene belegt die Bedarfsanalyse von Personenbahnhöfen, dass bei großen

Bahnhöfen eine individuelle Optimierung des Energieverbrauchs notwendig ist, während für kleine Bahnhöfe die Entwicklung eines einheitlichen Vorgehens ausreicht. Die Arbeiten des BMVI-Expertennetzwerks tragen somit erstmals dazu bei, verkehrsträgerübergreifende Zusammenhänge in Entscheidungsprozessen zu einer effizienteren Energienutzung besser berücksichtigen zu können.

Die Verkehrsinfrastruktur für die regenerative Energieerzeugung nutzen

Das BMVI-Expertennetzwerk unterstützt laufende BMVI-Initiativen wie die klimaneutrale Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, die auf eine Reduktion von Treibhausgasen im Verkehrssektor zielen. Die Verkehrsnetze von Schiene, Straße und Wasserstraße und damit verbundene Liegenschaften sind in Deutschland weit verzweigt und bedecken größere Flächen. Daher bestehen bei allen Verkehrsträgern zahlreiche Möglichkeiten für die Installation von Photovoltaikanlagen, die einen signifikanten Teil der derzeitigen fossilen Energieerzeugung ersetzen können. Das BMVI-Expertennetzwerk hat untersucht, wie man diese Flächen nutzen kann, um den Pumpbetrieb des Mittelland- und Elbe-Seitenkanals mit erneuerbaren Energien aus Photovoltaikanlagen zu bestreiten (Abbildung 20).

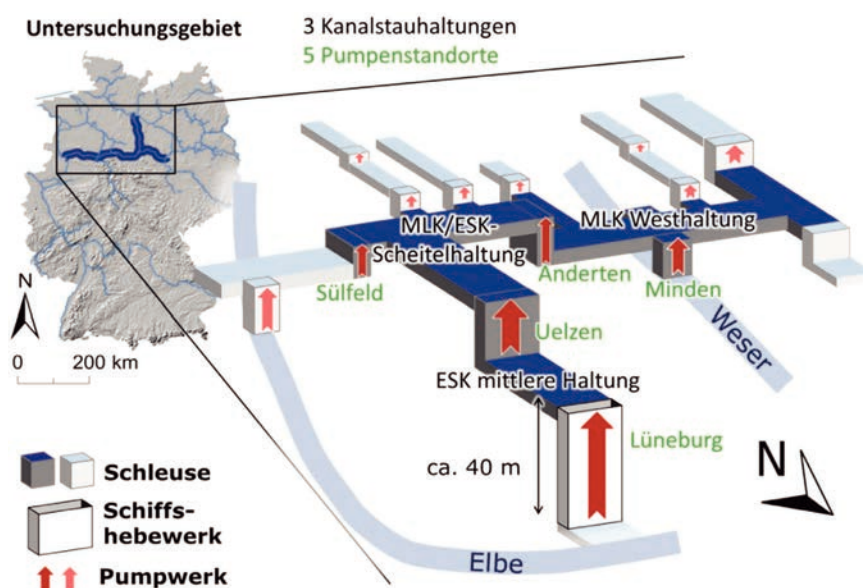


Abbildung 20: Schematische Skizze des Mittelland- und Elbe-Seitenkanals (MLK bzw. ESK). An diesem Fallbeispiel wurden Einsatzpotenziale erneuerbarer Energien an Pumpwerken untersucht.

An das Kanalsystem sind im Untersuchungsgebiet fünf Pumpwerke angeschlossen, die Höhenunterschiede in der Wasserstraße von bis zu 61 m überwinden. Die Potenziale für die Erzeugung regenerativer Energien aus Solar-, aber auch Windkraft lassen sich mithilfe meteorologischer Daten ermitteln. Dabei sind die räumliche und zeitliche Variabilität der Strahlung bzw. des Windes detailliert zu erfassen. Die aktuellen Ergebnisse belegen, dass 14 % des Strombedarfs der Pumpwerke regenerativ gedeckt werden kann, wenn lediglich die Dachflächen der örtlichen Liegenschaften der Wasserstraße mit Photovoltaikanlagen versehen werden. Der Anteil regenerativ erzeugter Energie steigt sogar auf 99 %, wenn auch Flächen von Lärmschutzwänden und -wällen an nahegelegenen Straßen mit Photovoltaikanlagen ausgestattet werden.

Alternative Antriebstechniken für Betriebsfahrzeuge nutzen

Auch die Fahrzeugflotte, die zum Betrieb und zur Unterhaltung der Verkehrsinfrastruktur vorgehalten wird, bietet Möglichkeiten, den Betrieb der Verkehrsträger klimafreundlicher zu gestalten. Im BMVI-Expertenetzwerk wurden exemplarisch die Fahrzeuge der Straßenmeistereien untersucht, die über alternative, batteriebetriebene Antriebe verfügen und mit Strom aus erneuerbaren Energien versorgt werden. Diese wurden unter Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten mit konventionellen dieselangetriebenen Fahrzeugen verglichen. Wichtige Randbedingungen waren dabei neben der notwendigen Einsatzverfügbarkeit der Fahrzeuge auch die Möglichkeiten und Hindernisse zur Einbindung eigener Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien. Das BMVI-Expertenetzwerk konnte zeigen, dass die Wirtschaftlichkeit der batteriebetriebenen Antriebe gegenüber herkömmlichen Dieselmotoren stark von der Eigenstromnutzung abhängt, da dadurch Abgaben und Umlagen für die Nutzung der Netze entfallen.



Abbildung 21: Solarmodule an einer Bundesautobahn (Bild: Henglein & Steets/GettyImages)

4 Vernetzte Ressortforschung verbessert die Politikberatung und hebt Synergien für den operativen Betrieb

Unter dem Motto „Wissen – Können – Handeln“ haben sich die sechs Ressortforschungseinrichtungen des BMVI – das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), der Deutsche Wetterdienst (DWD) und das Deutsche Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahnbundesamt (DZSF/EBA) – sowie das Bundesamt für Güterverkehr (BAG) im BMVI-Expertennetzwerk zusammengeschlossen, um gemeinsam verkehrsträgerübergreifende und interdisziplinäre Forschungsthemen zu bearbeiten. Dadurch wird das fachspezifische Know-how der Behörden auf eine breitere gemeinsame Basis gestellt und neue Synergien entstehen. Mit der Etablierung des BMVI-Expertennetzwerks entspricht das BMVI zudem einer Forderung des Wissenschaftsrates der Bundesregierung, die Ressortforschungseinrichtungen im Verkehrsbereich besser zu vernetzen und auf diese Weise ungenutzte Synergien zwischen den Behörden zu aktivieren und Redundanzen bei den Forschungsaktivitäten zu vermeiden. Im Ergebnis hat sich zwischen den beteiligten Behörden eine neue Form der Zusammenarbeit in der Ressortforschung und der Politikberatung erfolgreich etabliert.

Das BMVI-Expertennetzwerk agiert interdisziplinär zwischen Wissenschaft, Anwendung und Politik. Durch die verkehrsträgerübergreifende Betrachtung stehen den Zielgruppen im BMVI sowie den Anwenderinnen und Anwendern in der Praxis Ergebnisse zur Verfügung, die sonst nicht hätten erzielt werden können. Das Netzwerk ergänzt die bestehenden Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten der beteiligten Behörden. Die komplexen Herausforderungen der Zukunft – von der Umsetzung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel über die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie bis hin zur Gestaltung des Mobilitätswandels der Zukunft – erfordern systemische, verkehrsträgerübergreifende Lösungen.

Die beteiligten Behörden erledigen im Rahmen der Netzwerkarbeit sowohl Forschungs- und Entwicklungsleistungen als auch wissenschaftsbasierte Beratungs- und Informationsleistungen. Die Forschungsthemen des BMVI-Expertennetzwerks sind – wie generell in der Ressortforschung – praxisnah und problemorientiert und widmen sich in der ersten Förderphase 2016-2019 aktuellen und zukünftigen Herausforderungen aus fünf Themenfeldern:

Klimawandelfolgen und Anpassung: Auch bei erfolgreicher Umsetzung der Klimaschutzziele der Bundesregierung sind Anpassungsmaßnahmen an den bereits stattfindenden Klimawandel erforderlich. Die Forschungsarbeiten des BMVI-Expertennetzwerks zum Thema ‚Anpassung an den Klimawandel‘ sind vielseitig und gehen weit über die hier exemplarisch vorgestellten Ergebnisse hinaus. Durch die Forschungsarbeiten werden dem BMVI wissenschaftliche Erkenntnisse und Werkzeuge zur Verfügung gestellt, die eine zielgerichtete Bewertung der Auswirkungen des Klimawandels und extremer Wetterereignisse auf das Verkehrssystem ermöglichen. Damit können frühzeitig geeignete Maßnahmen eingeleitet werden, um die erwarteten Auswirkungen zu minimieren. Die Bedarfe der Verkehrsträger für die spätere Nutzung und Anwendung werden dabei konsequent berücksichtigt, so dass den Anwenderinnen und Anwendern eine zeitnahe Umsetzung in der Praxis ermöglicht wird.

Umwelt und Verkehr: Die Umweltforschung im BMVI-Expertennetzwerk erbringt vielfältige und zusammenwirkende Erkenntnisse zu Umweltbelangen bei der Weiterentwicklung der Verkehrsinfrastruktur, besonders in den Bereichen Schadstoff-, Lärm- und Biodiversitätsmanagement. Angefangen bei der Auswahl und Anwendung umweltfreundlicher Baustoffe, über die realistischere Einschätzung von Auswirkungen im Vorfeld von Bau- und Unterhaltungsmaßnahmen bis hin zu Fragen der Biotopvernetzung und einem wesentlichen Beitrag zum Aktionsplan über die Prävention und das Management der Einbringung und Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten auf EU-Ebene. Die neu entwickelten Werkzeuge des BMVI-Expertennetzwerks bringen neue Erkenntnisse und ein Angebot bis tief in die Praxisebene hinein. Hierdurch können die Umweltaanforderungen noch besser bei Infrastrukturmaßnahmen berücksichtigt werden.

Zuverlässige Verkehrsinfrastruktur: Für das Verkehrssystem in Deutschland wird ein deutlicher Zuwachs des Güter- und Personenverkehrs prognostiziert⁵. Gleichzeitig steigt der Unterhaltungsaufwand, um die Funktions- und Leistungsfähigkeit der Bauwerke zu erhalten und zu optimieren. Das BMVI-Expertennetzwerk leistet hier einen ent-

⁵ Bundesverkehrswegeplan 2030 (2016). Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Berlin.

scheidenden Beitrag, indem es innovative Methoden zur Erfassung und Bewertung des Bestandes an Bauwerken, zur Beurteilung der Zuverlässigkeit und Konzepte für Baumaßnahmen unter Betrieb entwickelt und den Anwenderinnen und Anwendern auf diese Weise wissenschaftlich fundierte Unterstützung bietet. Die Berücksichtigung der Ergebnisse ermöglicht es, frühzeitig kleinere Erhaltungsmaßnahmen mit geringem Einfluss auf die Nutzung durchzuführen und hierdurch die Nutzungsdauer von Bauwerken erheblich zu verlängern.

Digitale Technologien: Durch die Digitalisierung entstehen fortlaufend neue Möglichkeiten, den Verkehr einfacher und sicherer zu gestalten und die hierfür notwendigen Arbeiten auf Praxisebene zu optimieren. Das BMVI-Expertenetzwerk identifiziert und bewertet neue Technologien und fördert durch seine verkehrsträgerübergreifende Sichtweise den Wissenstransfer zwischen den beteiligten BMVI-Behörden. Die Vereinheitlichung von Datenformaten und Werkzeugen erleichtert zudem die Einführung neuer Technologien in die Praxis. Hierdurch werden auch ressortweit wichtige neue Fachkompetenzen und innovative Arbeitsabläufe in der Ressortforschung etabliert.

Erneuerbare Energien: Die ambitionierten Klimaschutzziele der Bundesregierung erfordern ein gemeinschaftliches Handeln in allen Sektoren. Neben den notwendigen Anpassungen der Verkehrsinfrastruktur an die Folgen des

Klimawandels können die Verkehrsverwaltungen durch die Umstellung ihres Energiebedarfs auf erneuerbare Energiequellen auch einen zusätzlichen aktiven Beitrag zum Klimaschutz leisten. Das BMVI-Expertenetzwerk erforscht verkehrsträgerübergreifend die Möglichkeiten der Nutzung erneuerbarer Energien im Betrieb und bei der Unterhaltung der Verkehrsinfrastruktur. Auch das Potenzial der Erzeugung erneuerbarer Energien auf den eigenen Betriebsflächen ist beträchtlich. Die Sondierungen von Bedarfen und Erzeugungsmöglichkeiten lieferten schon nach kurzer Zeit wichtige Erkenntnisse und Ideen für eine klimaneutralere Verkehrsverwaltung.

Die Ergebnisse des BMVI-Expertenetzwerks wurden auf über 250 Veranstaltungen (Fachkonferenzen, Gremien, Dialogen mit Anwenderinnen und Anwendern etc.) vorgestellt und in zahlreichen Publikationen veröffentlicht⁶ und tragen so zur Sichtbarkeit der Ressortforschung des BMVI auf nationaler und internationaler Ebene bei. Durch die Veröffentlichungen können auch weitere Anwenderinnen und Anwender in Praxis und Forschung die Ergebnisse und Produkte aus dem BMVI-Expertenetzwerk nutzen. Darüber hinaus fördert das BMVI-Expertenetzwerk durch Kooperationen und Vergaben von Forschungsaufträgen die verkehrsträgerübergreifende Vernetzung der Forschungslandschaft. All dies stellt sicher, dass die Ressortforschung des BMVI eine moderne Politikberatung auf dem Stand von Wissenschaft und Technik betreibt.

6 <https://www.bmvi-expertennetzwerk.de/publikationen>

Impressum

Herausgeber

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
Invalidenstraße 44
10115 Berlin
Internet: www.bmvi.de
E-Mail: poststelle@bmvi.bund.de

Redaktionsteam

Daniel Esser (BfG), Stephanie Hänsel (DWD), Frank Kaspar (DWD), Enno Nilson (BfG), Markus Reinhardt (DZSF/EBA), Franz Schöll (BfG), Katharina Schütze (BfG), Christoph Stephan (BAW), Teresa Werner (BASt), Thomas Ternes (BfG)

Stand

Dezember 2020

Gestaltung | Druck

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
Referat Z 32, Druckvorstufe | Hausdruckerei

Bildnachweis

Titelseite:
Oben links: Thomas Winz/gettyimages
Oben rechts: Moorefam/gettyimages
Unten links: Patrick Havel/Bundesanstalt für Gewässerkunde
Unten rechts: Bundesanstalt für Wasserbau
Seite 1: <https://www.andreas-scheuer.de/presse/>

Zitiervorschlag

BMVI (2020). Das BMVI Expertennetzwerk „Wissen – Können – Handeln“: Synthesebericht zur Forschungsphase 2016-2019. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Berlin. DOI: 10.5675/ExpNBMVI2020.2020.17

Diese Broschüre ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit der Bundesregierung.
Sie wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt.

